



SKRIPSI - ME 141501

**PENILAIAN RISIKO SHIP TO SHIP TRANSFER
KAPAL LPG TANKER PERTAMINA GAS 1
MENGUNAKAN METODE FUZZY INFERENCE
SYSTEM
STUDI KASUS: UNLOADING MUATAN DI
PERAIRAN KALBUT, SITUBONDO**

Putu Winda Aryantini
NRP 4213 100 108

Dosen Pembimbing
A.A.B Dinariyana DP, S.T., MES, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - ME 141501

**RISK ASSESSMENT OF SHIP TO SHIP
TRANSFER OF PERTAMINA GAS 1 LPG
TANKER USING FUZZY INFERENCE SYSTEM
Case Study : UNLOADING CARGO IN PORT
OF KALBUT, SITUBONDO**

Putu Winda Aryantini
NRP 4213 100 108

Supervisor
A.A.B Dinariyana DP, S.T., MES, Ph.D

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO SHIP TO SHIP TRANSFER KAPAL LPG TANKER PERTAMINA GAS 1 MENGUNAKAN METODE FUZZY INFERENCE SYSTEM

**Studi Kasus: UNLOADING MUATAN DI
PERAIRAN KALBUT, SITUBONDO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability
and Safety* (RAMS)

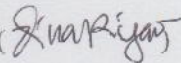
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Putu Winda Aryantini

NRP 4213 100 108

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D (
NIP. 197505102000031001

SURABAYA
Januari, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO SHIP TO SHIP TRANSFER KAPAL LPG TANKER PERTAMINA GAS 1 MENGUNAKAN METODE FUZZY INFERENCE SYSTEM

**Studi Kasus: UNLOADING MUATAN DI
PERAIRAN KALBUT, SITUBONDO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

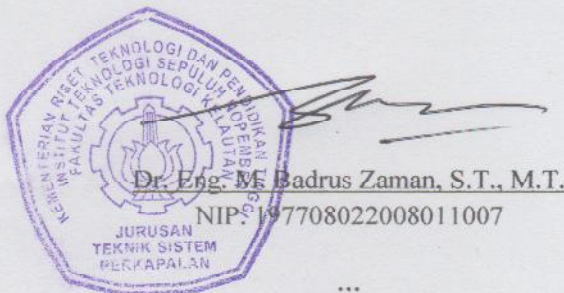
Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability
and Safety (RAMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Putu Winda Aryantini
NRP 4213 100 108

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Putu Winda Aryantini
NRP : 4213100108
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : A.A.B. Dinariyana D.P., ST.
MES. Ph.D

Ship to Ship Transfer adalah kegiatan pemindahan langsung muatan gas, cair, ataupun padat dari suatu kapal ke kapal lainnya. PT. Pertamina menjadi salah satu perusahaan yang menerapkan STS transfer untuk memindahkan muatannya dari satu kapal ke kapal yang lain guna untuk memenuhi kebutuhan distribusi LPG pada daerah-daerah tertentu. Perairan Kalbut, Situbondo menjadi salah satu lokasi untuk STS transfer kapal LPG Tanker Pertamina Gas 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya saat proses *unloading*, menghitung frekuensi yang terjadi dan konsekuensi yang terjadi pada *crew* kedua kapal, dan menentukan tingkat risiko yang dihasilkan, serta tindakan mitigasi apabila risiko berada pada tingkat/level yang tidak diterima. Pengidentifikasian bahaya dilakukan dengan metode HAZOP (*Hazard and Operability*) yang mengacu pada P&ID yang ada. Adapun potensi bahaya tersebut antara lain *Jet Fire*, *Flash Fire* dan *Gas Dispersion*. Analisa frekuensi menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) dan ETA (*Event Tree Analysis*). Hasil frekuensi paling tinggi untuk masing-masing potensi bahaya adalah Gas Dispersion dengan angka $2,55 \times 10^{-3}$ /tahun. Analisa Konsekuensi dengan menggunakan pendekatan *fire modeling* menunjukkan bahwa Flash fire merupakan potensi bahaya yang memiliki konsekuensi terbesar. Untuk representasi risiko menggunakan 2 metode yaitu F-N curve yang mengacu standar UK HSE dan Perangkat lunak Matlab dengan fungsi *Fuzzy Inference*

System menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk masing-masing potensi bahaya berada pada kondisi “Acceptable”, “Low risk” dan “Medium risk” sehingga tindakan mitigasi tidak diperlukan.

Kata kunci : LPG, *Ship to Ship Transfer*, *fire modelling*, HAZOP, ALOHA, *Fuzzy Inference System*, Perairan Kalbut Situbondo.

ABSTRACT

Name : Putu Winda Aryantini
NRP : 4213100108
Department : Marine Engineering
Supervisor : A.A.B. Dinariyana D.P., S.T. MES. Ph.D

Ship to Ship Transfer is a direct transfer of cargo activities of gas, liquid, or solid from one ship to another ship. PT. Pertamina became one of the companies that implement STS transfer to move cargo from one ship to another ship in order to meet the needs of LPG distribution in certain areas. Kalbut in Situbondo port is one of the locations for STS transfer Pertamina Gas 1 which carries a charge LPG. This study aims to identify potential hazards in the process of unloading, knowing the frequency occurs and a large impact on both ships crew who were carrying the STS, and determine the level of risk that is generated, as well as mitigation measures when the risk is at a stage that is not acceptable. Hazard identification was conducted using HAZOP (Hazard and Operability) which refers to the existing P&ID. The potential hazards include Jet Fire, Flash Fire and Gas Dispersion. Frequency analysis using FTA (Fault Tree Analysis) and ETA (Event Tree Analysis). Results of the highest frequency for each potential hazard is Gas Dispersion with figures $2,55 \times 10^{-3}$ / year. Consequence analysis using fire modeling approach indicates that the Flash Fire is a potential hazard that has the greatest consequences. For the representation of the risk of using two methods: the F-N curve refers to the standard UK HSE and Matlab software with function Fuzzy Inference System showed that the level of risk for each potential hazard in a state of "Acceptable", "Low risk" and "Medium risk" so that the mitigation measures are not necessary.

Keywords : LPG, *Ship to Ship Transfer*, *fire modelling*, HAZOP, ALOHA, *Fuzzy Inference System*, Kalbut SitubondoPort.

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena anugerah dan kuasaNya sehingga tugas akhir dengan judul **“Penilaian Risiko Ship To Ship Transfer Kapal LPG Tanker Pertamina Gas 1 menggunakan Metode Fuzzy Inference System Studi Kasus: Unloading Muatan di Perairan Kalbut, Situbondo”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik oleh penulis juga atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Ketut Wijana dan Ibu Luh Suartini serta adik Kadek Dewi Darmayanti, yang telah bersedia mendengar keluh kesah, memberikan dukungan baik moril maupun materi, dan doa yang tulus ikhlas kepada penulis saat menghadapi kesulitan dalam pengerjaan Tugas Akhir, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak A.A.B Dinariyana D.P, ST. MES, Ph.D selaku dosen pembimbing sekaligus Kepala Laboratorium RAMS, yang selalu mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana ST. M.Sc. dan. yang telah memberi banyak perhatian dan masukan selama proses pengerjaan tugas akhir
4. Bapak Ir. Dwi Priyanta MSE, Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc, Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT., Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc, Ph.D
5. Bapak Gusti Ngurah Handiyana dan Kapten Riyanto yang telah membantu memberikan informasi dan data untuk mengerjakan tugas akhir ini.

6. Bapak Dr. Ir. A.A Masroeri, M.Eng selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis
7. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc, Ph.D, Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana ST. M.Sc, Bapak Beny Cahyono, ST., MT., P.hD dan Bapak A.A.B Dinariyana D.P, ST. MES, Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir atas masukan dan saran yang sangat berguna bagi penulis.
8. Teman Sepermainan, Alphie Benhard Sori M.M, Hilda Gloria Natalia T.H, Lusi Fadilah, Gde Manik Sukanegara, Leonardo Sitinjak, Richard Diago, Dante Taufiq, Danuja Wijayanto, Aloysius Sidaauruk.
9. Teman-teman seperjuangan 3,5 tahun Pangestu, Balqis, Rahmat, Felix, Septi, Lenny, Lusi, Diki, Aldio.
10. Ciwi-ciwi Barakuda 13 yang selalu Strong dan selalu berjuang untuk Masa depan masing-masing.
11. Semua teman-teman Barakuda 13 atas kerjasama dan dukungan selama ini. Teman-teman yang selalu menguatkan satu sama lain. Sukses buat kita semua.
12. Semua teman-teman lab RAMS, Ago, Ben, Antony, Apri, Arif, Bram. Ucup, Dante, Danu, Diga, Dioco, Dede, Fajar, Filik, Gishel, Ijal, Haris, Hildi, Jerico, Kevin, Miranto, Mizan, Ilham, Agus, Tri, Nyimas, Randy, Hafizh, Sofi, Manik. Semoga Sukses 116.
13. Mba dan Mas lab RAMS, Mbak Ucik, Mbak Emmy, Mbak Putri, Mbak Fadilla, dan Mas Dwi. Yang selalu membantu dan menjadi tempat berdiskusi penulis apabila mengalami kesulitan.
14. Kyut Girl Gengs, Amirah Baiti, Faizah Mardiana, Ika Wahyuningtyas, Lilian Rahma Ananda, Nahdiatul Mahfuza, Nurul Amalia, Rizka Umami yang selalu menghibur dan mendengarkan keluh kesah penulis.
15. Dan semua pihak yang terlibat dan berkontribusi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan saran untuk dapat menyempurnakan tugas akhir ini dengan baik dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Akhir kata, semoga Tuhan YME melimpahkan KaruniaNya kepada kita semua. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2017
Penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Skripsi.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Liquified Petroleum Gas</i> (LPG).....	5
2.2 Pertamina Gas 1	6
2.3 Kapal Gas Arar	9
2.4 Ship To Ship Transfer.....	12
2.5 Pelabuhan Kalbut, Situbondo	13
2.6 Unloading Process	15

2.7 <i>Risk Assessment</i>	17
2.7.1 <i>Hazard Identification</i>	18
2.7.1.1 <i>HAZOP</i>	18
2.7.2 Analisa Frekuensi	21
2.7.2.1 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	21
2.7.2.2 <i>Event Tree Analysis</i> (ETA).....	23
2.7.3 Analisa Konsekuensi	25
2.7.3.1 ALOHA 5.4.4.....	25
2.8 <i>Jet Fire</i>	27
2.9 <i>Flash fire</i>	27
2.10 Vapour Cloud Explosion	28
2.11 <i>Gas dispersion</i>	29
2.12 <i>F-N Curve</i>	30
2.13 Metode Fuzzy	31
2.13.1 <i>Fuzzy Inference System</i>	32
2.13.2 Fuzzifikasi	35
2.13.3 <i>Inference</i>	36
2.13.4 Komposisi.....	39
2.13.5 Defuzzifikasi	39
2.13.6 Metode Mamdani	40
BAB III METODOLOGI.....	47
3.1 Perumusan Masalah.....	48
3.2 Studi Literatur.....	48
3.3 Pengumpulan Data.....	49

3.4 HAZOP Identification	49
3.5 Analisa Frekuensi	49
3.6 Analisa Konsekuensi	50
3.7 Representasi Risiko	50
3.8 Analisa Mitigasi.....	51
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Gambaran Umum	53
4.2 Data.....	53
4.3 HAZOP <i>Study</i>	55
4.3.1 Pembagian Node	55
4.3.2 Penentuan Deviasi Sistem	57
4.3.3 Penentuan <i>Cause</i> dan <i>Consequences</i>	57
4.3.4 Penentuan <i>Safeguards</i>	57
4.3.5 Penentuan <i>Comments</i> dan <i>Action Required</i>	58
4.3.6 Skenario konsekuensi yang mungkin terjadi pada fasilitas	90
4.4 Analisa Frekuensi	90
4.4.1 Fault Tree Analysis (FTA)	101
4.4.2 <i>Event Tree Analysis</i> (ETA)	104
4.5 Analisa Konsekuensi	109
4.5.1 Penentuan letak <i>receiver</i>	109
4.5.2 <i>Fire modelling</i> dengan perangkat lunak ALOHA	110
4.6 Representasi Risiko	120

4.6.1 Representasi Risiko <i>jet fire</i>	120
4.6.2 Representasi Risiko <i>Jet fire</i> dengan menggunakan <i>Fuzzy Inference System</i>	122
4.6.3 Representasi Risiko <i>flash fire</i>	128
4.6.4 Representasi Risiko <i>Flash Fire</i> dengan menggunakan <i>Fuzzy Inference System</i>	130
4.6.5 Representasi Risiko <i>gas dispersion</i>	136
4.6.6 Representasi Risiko <i>gas dispersion</i> dengan menggunakan <i>Fuzzy Inference System</i>	138
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	145
5.1 Kesimpulan.....	145
5.2 Saran	146
Daftar Pustaka.....	151
LAMPIRAN A.....	152
LAMPIRAN B	153
LAMPIRAN C.....	163
LAMPIRAN D.....	201

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Principal Dimension Kapal Pertamina	8
Tabel 2.2 Principal Dimension Kapal Gas Arar	11
Tabel 2.3 Kondisi Perairan Kalbut.....	16
Tabel 2.4 Unloading Procedures	17
Tabel 2.5 Saverity Category	40
Tabel 2.6 Probability Categories.....	41
Tabel 4.1 Spesifikasi Teknis Kapal Penerima LPG	54
Tabel 4.2 Pembagian Node	56
Tabel 4.3 Node 1 <i>System 1</i>	59
Tabel 4.4 Node 2 <i>System 2</i>	80
Tabel 4.5 Node 3 <i>System 3</i>	82
Tabel 4.6 <i>Compatibility matrix</i> skenario yang terjadi pada fasilitas	90
Tabel 4.7 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 1 pada setiap komponen.....	92
Tabel 4.8 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 2 pada setiap komponen.....	93
Tabel 4.9 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 3 pada setiap komponen.....	94
Tabel 4.10 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 4 pada setiap komponen.....	95
Tabel 4.11 Frekuensi kegagalan node 1 pada semua sistem .	96
Tabel 4.12 Frekuensi kegagalan node 2 pada semua equipment.....	97
Tabel 4.13 Frekuensi kegagalan node 3 sistem 1	98
Tabel 4.14 Frekuensi kegagalan node 3 sistem 2	99
Tabel 4.15 Frekuensi kegagalan node 3 pada semua system	100
Tabel 4.16 Rekapitulasi Frekuensi <i>Gas release</i> pada setiap node.....	103
Tabel 4.17 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa <i>jet fire, flash fire</i> , dan <i>gas dispersion</i> pada node 1	107

Tabel 4.18 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa <i>jet fire</i> , <i>flash fire</i> , dan <i>gas dispersion</i> pada node 2.....	107
Tabel 4.19 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa <i>jet fire</i> , <i>flash fire</i> , dan <i>gas dispersion</i> pada node 3.....	108
Tabel 4.20 Data <i>receiver</i> pada proses Ship to Ship Transfer	110
Tabel 4.21 Rekapitulasi <i>fire modelling jet fire</i> pada semua node dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	113
Tabel 4.22 Rekapitulasi <i>fire modelling flash fire</i> pada semua node dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	116
Tabel 4.23 Kadar ppm dalam <i>Gas methane</i> dan efeknya....	117
Tabel 4.24 Rekapitulasi <i>gas dispersion</i> pada semua node dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	119
Tabel 4.25 Rekapitulasi <i>jet fire</i> untuk skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	120
Tabel 4.26 Rekapitulasi tingkat risiko <i>jet fire</i> untuk seluruh skenario kebocoran	121
Tabel 4.27 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	123
Tabel 4.28 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	125
Tabel 4.29 Rekapitulasi <i>flash fire</i> untuk skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm).....	128
Tabel 4.30 Rekapitulasi tingkat risiko <i>flash fire</i> untuk seluruh skenario kebocoran	129
Tabel 4.31 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	131
Tabel 4.32 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	133
Tabel 4.33 Rekapitulasi <i>gas dispersion</i> untuk skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	136
Tabel 4.34 Rekapitulasi tingkat risiko <i>gas dispersion</i> untuk seluruh skenario kebocoran.....	137
Tabel 4.35 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	139

Tabel 4.36 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy	141
---	-----

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Type tanki “A” kapal Pertamina Gas 1	7
Gambar 2.2 Rute Operasi Kapal LPG.....	9
Gambar 2.3 Kapal Gas Arar.....	10
Gambar 2.4. Cargo Tank.....	11
Gambar 2.5. Ship to Ship Transfer	13
Gambar 2.6. Pelabuhan Kalbut, Situbondo.....	14
Gambar 2.7 Tabel Identifikasi HAZOP	21
Gambar 2.8 <i>Fault Tree Analysis</i>	23
Gambar 2.9 <i>Event Tree Analysis</i>	24
Gambar 2.10 Fire modelling dengan ALOHA 5.4.4.....	26
Gambar 2.11 <i>Jet Fire</i>	27
Gambar 2.12 <i>Flash fire</i>	28
Gambar 2.13 VCE.....	29
Gambar 2.14 <i>Gas dispersion</i>	29
Gambar 2.15 <i>F-N Curve</i>	30
Gambar 2.16 Boolean Logic (1) Fuzzy Logic (2).....	31
Gambar 2.17. The Toolbox of Fuzzy Inference System in Matlab	33
Gambar 2.18. Diagram blok System Inferensi Fuzzy	34
Gambar 2.19. Fuzzy Logic Application Flow Chart.....	35
Gambar 2.20. Ketetapan derajat kebenaran untuk probabilitas	36
Gambar 2.21. Komposisi aturan Fuzzy, Metode MAX	43
Gambar 4.1 <i>Layout</i> Unloading muatan	53
Gambar 4.2 Skenario Kejadian	91
Gambar 4.3 <i>Fault Tree Analysis</i> pada node 1 (hole >150mm) dengan menggunakan Relex 2009	102
Gambar 4.4 <i>Event Tree Analysis</i> pada node 1 (<i>fullbore</i> > 150 mm).....	106
Gambar 4.5 Persebaran <i>Receiver</i> pada terminal penerima CNG	109
Gambar 4.6 <i>Fire modelling jet fire</i> pada <i>Node 1</i> dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm).....	111

Gambar 4.7 <i>Fire modelling flash fire</i> pada node 1 dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm).....	114
Gambar 4.8 <i>Fire modelling gas dispersion</i> pada Node 1 dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	118
Gambar 4.9 F-N <i>curve</i> untuk <i>jet fire</i> dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	121
Gambar 4.10 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.....	122
Gambar 4.11 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	124
Gambar 4.12 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	125
Gambar 4.13 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.	126
Gambar 4.14 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Jetfire dengan kebocoran fullbore >150mm	127
Gambar 4.15 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab	127
Gambar 4.16 F-N <i>curve</i> untuk <i>flash fire</i> dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	129
Gambar 4.17 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.....	130
Gambar 4.18 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	132
Gambar 4.19 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	133
Gambar 4.20 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.	134
Gambar 4.21 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Flash fire dengan kebocoran fullbore >150mm	135
Gambar 4.22 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab	135

Gambar 4.23 F-N <i>curve</i> untuk <i>gas dispersion</i> dengan skenario kebocoran <i>full bore</i> (>150 mm)	137
Gambar 4.24 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.....	138
Gambar 4.25 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	140
Gambar 4.26 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.....	141
Gambar 4.27 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.	142
Gambar 4.28 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Gas Dispersion dengan kebocoran fullbore >150mm	143
Gambar 4.29 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab	143

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode untuk mentransfer muatan dari satu tempat ke tempat yang lain memiliki beragam cara, seperti yang kita ketahui bahwa *Ship To Ship transfer* menjadi metode transfer muatan yang banyak dijumpai pada saat ini. Karena metode *ship to ship* dapat diterapkan untuk kapal bermuatan minyak bumi maupun gas cair (LPG/LNG) dan karena *draft* sarat pelabuhan di Indonesia cukup rendah maka kapal-kapal besar tidak dapat bersandar di pelabuhan untuk melakukan *unloading* muatan, maka dari itu metode *ship to ship transfer* menjadi salah satu cara yang paling efisien untuk melakukan *unloading* muatan di tengah laut.

PT. Pertamina menjadi salah satu perusahaan yang menerapkan STS transfer untuk memindahkan muatannya dari satu kapal ke kapal yang lain guna untuk memenuhi kebutuhan distribusi LPG pada daerah-daerah tertentu. Perairan Kalbut, Situbondo menjadi salah satu lokasi untuk STS transfer kapal LPG Tanker Pertamina Gas 1 yang membawa muatan dari Bontang menuju Perairan Kalbut untuk *unloading* muatan, kemudian muatan LPG akan dibawa oleh kapal Gas Arar 3.500 m³ (kapal milik Pertamina) untuk memenuhi kebutuhan LPG domestic Indonesia (Handiyana, 2016).

Pada proses pendistribusian LPG dimulai dari loading LPG di terminal Bontang, jenis muatan yang dibawa oleh kapal LPG Tanker Pertamina Gas 1 adalah LPG dengan *fully refrigerated*, lalu temperature LPG akan dijaga pada suhu -48°C pada ruang muat kapal LPG Tanker Pertamina Gas 1, kemudian dibawa menuju perairan Kalbut, Situbondo untuk melakukan STS transfer ke kapal yang berukuran lebih kecil yaitu kapal Gas Arar 3.500 m³ kapal tersebut merupakan

tipe kapal yang berbeda kapal Pertamina Gas 1 bertipe *fully refrigerated* sedangkan kapal Gas Arar bertipe *fully pressurized* sehingga perlu mengatur tekanan atau temperature kembali. Mengingat LPG ditransferkan menggunakan metode STS yang memiliki berbagai potensi risiko yang dapat terjadi. Sebagai studi kasusnya adalah *unloading* dengan metode STS transfer LPG akan menghasilkan beberapa nilai risiko yang tidak dapat diterima sehingga diperlukan mitigasi.

Seperti yang dijelaskan diatas bahwa STS transfer menggunakan kapal yang berbeda ukuran sehingga dapat menimbulkan risiko-risiko yang dapat terjadi sehingga dapat membahayakan *crew* kapal, meskipun tidak berdampak besar kepada perairan Kalbut karena jarak STS transfer dengan pelabuhan cukup jauh namun risiko-risiko kecelakaan akibat gagalnya komponen untuk melakukan *unloading* muatan dapat terjadi dan dapat menimbulkan korban jiwa pada kedua kapal tersebut.

Untuk itu sangat perlu dilakukan penilaian risiko terhadap proses *Ship to Ship transfer* dari kapal Pertamina Gas 1 ke kapal Gas Arar. Kajian risiko meliputi system transfer menggunakan STS termasuk kategori berbahaya atau tidak dengan dianalisis menerapkan metode *Fuzzy Inference Analysis*.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada lima, yaitu :

1. Bagaimana mengaplikasikan *risk assessment* untuk *Unloading* LPG dengan *Ship to Ship transfer* di Perairan Kalbut, Situbondo ?
2. Hal-hal apa saja yang dapat menimbulkan risiko pada saat *Unloading* LPG dengan *Ship to Ship transfer* di Perairan Kalbut, Situbondo ?

3. Bagaimana tingkat frekuensi bahaya yang terjadi pada proses *unloading* LPG dengan system STS di perairan Kalbut, Situbondo ?
4. Bagaimana tingkat konsekuensi bahaya yang terjadi pada proses *unloading* LPG dengan system STS di perairan Kalbut, Situbondo?
5. Bagaimana tingkat risiko yang dihasilkan dengan metode *Fuzzy Inference System* ?
6. Bagaimana rekomendasi mitigasi risiko jika diperlukan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Menganalisa proses *unloading* LPG dari Kapal Pertamina Gas 1 dan Kapal Gas Arar dengan sistem STS.
2. Menganalisa risiko akibat kegagalan *equipment*
3. Hanya menganalisa STS transfer antara kapal Pertamina Gas 1 dengan kapal Gas Arar

1.4 Tujuan Skripsi

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *hazard* yang ada saat proses *unloading* LPG
2. Menganalisa frekuensi bahaya yang terjadi dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*
3. Menganalisa konsekuensi bahaya dengan *ALOHA* pada proses *unloading* LPG dengan menggunakan system STS
4. Mengetahui tingkat risiko yang dihasilkan tingkat risiko yang dihasilkan dengan metode *Fuzzy Inference System*
5. Mengusulkan tindakan mitigasi apabila risiko berada pada tingkat yang tidak dapat diterima

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hal-hal apa saja yang dapat membahayakan kapal dan proses *unloading ship to ship transfer* serta risiko-risiko apa saja yang dapat terjadi pada kapal dan proses *unloading ship to ship transfer* tersebut.
2. Mengetahui seberapa besar bahaya yang dapat ditimbulkan akibat bersandarnya kapal Pertamina Gas 1 di daerah perairan Kalbut, Situbondo, sehingga dapat dijadikan dasar kewaspadaan saat kapal Pertamina Gas 1 tersebut sedang *anchorage* di perairan tersebut.
3. Mendapatkan rekomendasi untuk perbaikan desain kapal dan proses *unloading ship to ship transfer* yang aman saat kapal Pertamina Gas 1 sedang *anchorage* di perairan Kalbut, Situbondo.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

Liquefied Petroleum Gas (LPG) terdiri dari unsur karbon dan hydrogen yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan komponen utama C_3 dan C_4 . Komposisi LPG tersebut terdiri dari senyawa propane C_3H_8 , propylene atau butena C_4H_8 , dan sejumlah kecil ethane C_2H_4 , ethylene C_2H_4 , dan penthana C_5H_{12} (Syukur, n.d.).

LPG adalah gas hasil produksi dari kilang Migas atau pemisahan gas alam, yang komponen utamanya adalah gas propane (C_3H_8) dan butane (C_4H_{10}) yang dicairkan.

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperature, tetapi biasanya sekitar 250:1. Sifat produk LPG ini adalah sebagai berikut:

1. **Tidak berwarna**, untuk dapat melihat fluida tersebut maka perlu ditambah zat warna.
2. **Tidak berbau**, untuk menjamin faktor keselamatan diberi zat odor, sehingga apabila terjadi kebocoran akan tercium
3. **Tidak berasa**
4. **Tidak (sangat sedikit) beracun**, apabila terjadi kebocoran di udara dalam konsentrasi sekitar (2-3%) dapat menyebabkan *anaesthetics* yang dapat mengakibatkan pusing dan selanjutnya pingsan. Apabila

terjadi kebocoran di ruang tertutup, dapat menggantikan oksigen di ruangan tersebut dan akan dapat mengakibatkan gangguan saluran pernapasan (sesak napas) pada orang yang ada di dalamnya.

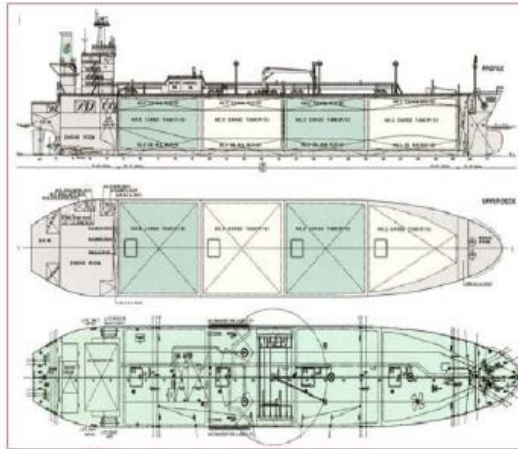
5. Mudah terbakar

Secara umum bahwa persyaratan mutu LPG adalah LPG harus dapat menguap dengan sempurna dan terbakar dengan baik pada saat pemakaian tanpa menyebabkan korosi atau meninggalkan deposit didalam sistem.

2.2 Pertamina Gas 1

Kapal Pertamina Gas 1/VLGC dengan kapasitas 84.000 m³ merupakan kapal yang digunakan Pertamina untuk mengantarkan muatan dari Bontang menuju Situbondo untuk memenuhi permintaan kebutuhan gas LPG untuk domestik Indonesia dengan menggunakan sebuah kapal. Kapal Pertamina Gas 1 ini termasuk tipe kapal dengan bentuk gas nya adalah *Fully Refrigerated* (Handiyana, 2016). Dengan tipe *cargo tank-Independent type A* kapal ini mempunyai ciri-ciri khusus yaitu sebagai berikut:

1. *Type cargo tank-Independent Type A*
2. *Cargo tank design pressure- normal atmosfer* (0,7 barG dengan suhu minimum sampai dengan -50⁰C).
3. Cargo tank umumnya berbentuk prismatic
4. Cargo tank memiliki insulasi
5. Ukuran cargo tank range 22.000m³ sampai dengan 84.000m³



Gambar 2.1 Type tanki “A” kapal Pertamina Gas 1
 Sumber: Slide presentation NSPC PT. Pertamina-Shipping

Gambar 2.1 menunjukkan desain secara umum untuk kapal Pertamina Gas 1 dapat dilihat dari tipe tanki yang digunakan untuk kapal tersebut merupakan jenis tanki yang bertipe *fully refrigerated*. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui peralatan yang digunakan untuk mentransferkan muatan LPG, berikut adalah *principal dimension* untuk kapal Pertamina Gas 1:

Tabel 2.1 Principal Dimension Kapal Pertamina Gas 1

Principal Dimension Kapal Pertamina Gas 1	
LOA	226 m
B	36.6 m
T	11.5 m
Tank Capacity	84.000 m ³
Breadth Moulded	36.60 m
Depth Moulded	22.30 m
Gross Tonnage	48344 Ton

Skema distribusi LPG Pertamina secara tujuan garis besar adalah untuk membawa muatan LPG dari kilang untuk menyuplai kebutuhan LPG di depot-depot daerah. Alur transportasi distribusi berawal dari titik kilang (*loading port*) kemudian menuju titik depot (*discharging port*) lalu kembali ke kilang. Untuk kapal Pertamina Gas 1 termasuk dalam kapal *Large Range* yang mempunyai proses distribusi yang berbeda dari kapal *small* dan *medium* lainnya. Untuk jenis kapal *Large Range* muatan LPG yang diambil dari kilang dan kemudian berhenti di titik *Ship to Ship* (STS) untuk kemudian muatan di *transfer* melalui kapal-kapal bertipe *medium range*, *small* 1 dan *small* 2 yang selanjutnya disuplai ke depot di region-region tersebut. Titik *ship to ship* merupakan tempat labuh di lautan, dimana dilakukan *transfer* muatan dari tipe kapal-kapal besar ke tipe kapal-kapal yang lebih kecil. Perpindahan pola operasi tersebut disebabkan karena beberapa faktor, faktor yang pertama adalah dikarenakan ketidaksesuaian sarat air kapal *large range* dengan kedalaman pelabuhan yang ada di wilayah region tersebut.

Umumnya kedalaman pelabuhan bongkar (*discharge port*) di wilayah region tersebut rendah. Sehingga kapal-kapal Pertamina yang berukuran besar seperti *large range* yang memiliki sarat air tinggi tidak dapat bersandar. Kedua adalah karena kapal yang bertipe *medium range* dan *small* memiliki sarat air yang lebih rendah sehingga dapat memasuki perairan pelabuhan yang kedalamannya rendah seperti di Perairan Kalbut, Situbondo. Sehingga model transportasi akan lebih efektif jika produk LPG yang diambil dari kilang kemudian diangkut dengan kapal berukuran besar terlebih dahulu hingga mendekati wilayah yang memiliki *demand* tinggi untuk pasokan LPG setelah itu didistribusikan ke daerah-daerah menggunakan kapal-kapal berukuran yang lebih kecil (Handiyana, 2016).

Sumber: *Slide presentation of SVP Shipping Pertamina*

2.3 Kapal Gas Arar

1. *Type cargo tank-Independent Type C*
2. *Cargo tank design pressure range sd 18 barG*
3. Cargo tank umumnya silinder atau Bi-lobe untuk capacity yang lebih besar
4. Cargo tank tidak di-insulasi
5. Ukuran cargo tank tidak melebihi 10.000 m³

Kapal gas Arar memiliki kapasitas tangki sebesar 3.500 m³ hal ini terlihat jelas perbedaan ukuran kapasitas tangki antara kapal Pertamina Gas 1 dengan kapal Gas Arar. Perbedaan ukuran kapal pun berbeda.



Gambar 2.3 Kapal Gas Arar

Sumber: Slide presentation NSPC PT. Pertamina-Shipping

Gambar 2.3. menunjukkan kapal milik Pertamina yang digunakan sebagai kapal penyuplai LPG untuk domestik Indonesia. Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa perbedaan jenis tangki antara kapal Pertamina Gas 1 dengan Kapal Gas Arar, terlihat bahwa jenis tangki untuk kapal Gas Arar adalah berjenis *fully pressurized* yang tidak membutuhkan insulasi pada setiap tangkinya. Berikut adalah *principal dimension* untuk kapal Gas Arar:

Tabel 2.2 Principal Dimension

Principal Dimension Kapal Gas Arar	
LOA	99 m
B	16.5 m

Lanjutan Tabel 2.2 Principal Dimension

T	4.5 m
Breadth Moulded	16.5 m
IMO Class	Liquefied Gas Carrier, type 2PG
Class	Bureau Veritas (BV)



Gambar 2.4. Cargo Tank

Sumber: Slide presentation NSPC PT. Pertamina-Shipping

Gambar 2.4. menunjukkan proses pembuatan tangki untuk kapal Gas Arar yang merupakan tangki yang bertipe *fully pressurized*, proses pembuatan tangki dengan tipe *fully pressurized* berbeda dengan proses pembuatan tangki bertipe *fully refrigerated*. Ciri khas yang dapat dilihat perbedaan tipe

tangki adalah dari bentuknya, bentuk silindrisal seperti gambar diatas digunakan oleh PT. Pertamina untuk tipe kapal *fully pressurized*.

2.4 Ship To Ship Transfer

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 1999 Tentang Angkutan di Perairan, Pasal 44 ayat (1) *Ship to Ship Transfer* adalah kegiatan pemindahan langsung muatan gas, cair, ataupun padat dari suatu kapal ke kapal lainnya. Kegiatan jasa pelayanan alih muat dari kapal ke kapal (*Ship to Ship*) adalah bagian dari kegiatan bongkar muat barang atau pemindahan suatu barang yang dilakukan dari suatu kapal ke kapal lain. Kegiatan bongkar muat barang tersebut dilakukan oleh Badan Hukum Indonesia yang berbentuk Perseroan Terbatas, Badan Usaha Milik Negara atau Badan Usaha Milik Daerah atau Koperasi, yang didirikan untuk usaha itu.

Selama prosedur transfer, kapal berlayar di laut diposisikan berdampingan satu sama lain. Kedua kapal bergerak dengan kecepatan rendah dan penyebab tujuannya adalah untuk membawa manifold mereka sejalan untuk melakukan transfer kargo. Kapal untuk operasi transfer kapal bisa dilakukan baik stasioner atau berlangsung tergantung pada faktor-faktor yang berbeda seperti area yang dipilih untuk transfer (dangkal atau air yang dalam, ruang efisien untuk manuver dan lain-lain) atau kondisi cuaca dan kondisi laut. Umumnya, Prosedur transfer STS terdiri dari empat fase yang berbeda (Stavrou & Ventikos, 2014):

1. Persiapan
2. Tahap mooring
3. Transfer cargo
4. Unmooring.

Kompleksitas yang tak terbantahkan dari kegiatan maritim karena lingkungan, dalam kombinasi dengan perhatian publik sehubungan dengan kemungkinan

kecelakaan laut yang merugikan dan berdampak terhadap lingkungan, menyebabkan studi dan pengembangan metode menjadi cara yang potensial untuk mengurangi kecelakaan laut. Metode tradisional dan canggih telah digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya atau untuk mengatasi kemungkinan skenario kecelakaan sehingga merupakan langkah pertama untuk melakukan analisis risiko dengan penyebab tujuan untuk mengurangi probabilitas kecelakaan (Stavrou & Ventikos, 2014).



Gambar 2.5. Ship to Ship Transfer

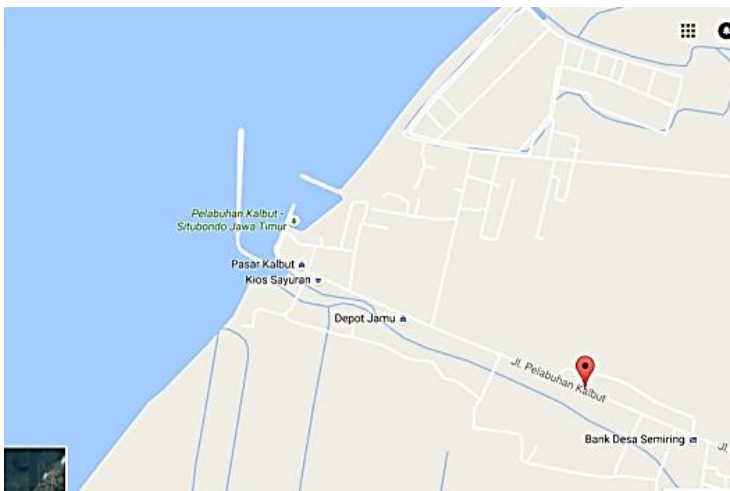
Sumber: Slide presentation NSPC PT. Pertamina-Shipping

Gambar 2.5. menunjukkan proses *Ship To Ship Transfer* kapal Milik Pertamina yang sedang melakukan unloading muatan di perairan Kalbut, Situbondo. Dari gambar tersebut terlihat berbagai macam peralatan guna berlangsungnya proses transfer muatan antara kedua kapal.

2.5 Pelabuhan Kalbut, Situbondo

Menurut Peraturan Pemerintah No. 69 Tahun 2001 Pasal 1 ayat 1, tentang Kepelabuhanan, Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya

dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi.



Gambar 2.6. Pelabuhan Kalbut, Situbondo
 Sumber : <https://www.google.com/earth/>

Gambar 2.6. menunjukkan letak dan posisi Pelabuhan Kalbut, terletak di desa Semiring, kecamatan Mangaran, Situbondo. Pelabuhan ini merupakan tempat berdasar kapal-kapal kecil.

PT. Pertamina memilih perairan Kalbut sebagai tempat untuk *Ship To Ship Transfer* berdasarkan wilayah distribusi LPG untuk depot-depot di seluruh Indonesia. Dikarenakan pelabuhan ini merupakan tempat bersandar untuk kapal-kapal kecil maka proses *Ship To Ship Transfer* merupakan cara yang paling efektif untuk memindahkan

muatan dari kapal besar (*mother's ship*) ke kapal yang berukuran lebih kecil.

Proses *Ship To Ship Transfer* dapat dilaksanakan juga bergantung pada kondisi perairan dan kondisi lingkungan pelabuhan. Berikut adalah data kondisi perairan Pelabuhan Kalbut, Situbondo:

Tabel 2.3 Kondisi Perairan Kalbut

Kondisi Perairan Kalbut Anchorage	
Density Air Laut	1,025 Ton/m ³
Pipa bawah Laut di daerah STS	Tidak Ada
Kecepatan Angin	10-20 knot
Perubahan Pasang Surut Air Laut	Tidak terlalu besar

Faktor cuaca dan ketinggian ombak sangat mempengaruhi proses STS transfer yang akan dilakukan kedua kapal. Karena Kapal Gas Arar ukurannya lebih kecil dibandingkan Kapal Pertamina Gas 1 sehingga dapat menyebabkan kesulitan untuk bersandar pada Kapal Pertamina Gas 1.

2.6 Unloading Process

Proses *unloading* adalah proses pemindahan muatan dari kendaraan pengangkut ke kendaraan pengangkut lain yang ada di darat maupun di laut. Dalam hal ini adalah LPG yang di *unloading* dari Kapal 1 menuju kapal lainnya. Proses *unloading* ini melibatkan beberapa *equipment* pendukung. Pada umumnya meliputi

1. *Valve connect*
2. *Flexible hose*
3. *Control Valve Station*
4. *Compressor*
5. *LPG Storage*

Selain peralatan tersebut proses *unloading* juga memiliki beberapa prosedur yang harus dijalankan untuk memastikan proses *unloading* berjalan secara aman dan tepat waktu. Prosedur-prosedur tersebut harus dijalankan oleh *manpower* yang terlibat dalam proses *unloading* tersebut. Berikut adalah contoh prosedur *unloading*.

Tabel 2.4 Unloading Procedures

Task Description	Procedures
Prior to loading/unloading	<p>Visually check all hoses for leaks and wet spots. Verify that sufficient volume is available in the <i>Storage</i> tank or truck.</p> <p>Secure the tank vehicle with wheel chocks and interlocks.</p> <p>Verify that the vehicle's parking brakes are set.</p> <p>Verify proper alignment of valves and proper functioning of the pumping <i>system</i>.</p> <p>Establish adequate bonding/grounding prior to connecting to the fuel transfer point.</p> <p>Turn off cell phone.</p>
During loading/unloading	<p>Driver must stay with the vehicle at all times during loading/unloading activities.</p> <p>Facility manager or designee should observe the delivery driver during loading/unloading.</p> <p>Periodically inspect all <i>systems</i>, hoses and connections.</p> <p>When loading, keep internal and external valves on the receiving tank open along with the pressure relief valves.</p> <p>When making a connection, shut off the vehicle</p>

Lanjutan Tabel 2.4 Unloading Procedures

	<p>engine. When transferring Class 3 materials, shut off the vehicle engine unless it is used to operate a pump.</p> <p>Maintain communication with the pumping and receiving stations.</p> <p>Monitor the liquid level in the receiving tank to prevent overflow.</p> <p>Monitor flow meters to determine rate of flow.</p> <p>When topping off the tank, reduce flow rate to prevent overflow.</p>
After loading/unloading	<p>Make sure the transfer operation is completed.</p> <p>Close all tank and loading valves before disconnecting.</p> <p>Securely close all vehicle internal, external, and dome cover valves before disconnecting.</p> <p>Secure all hatches.</p> <p>Disconnect grounding/bonding wires.</p> <p>Make sure the hoses are drained to remove the remaining oil before moving them away from the connection. Use a drip pan.</p> <p>Cap the end of the hose and other connecting devices before moving them to prevent unControlled leakage.</p> <p>Remove wheel chocks and interlocks.</p> <p>Inspect the lowermost drain and all outlets on tank truck prior to departure. If necessary, tighten, adjust, or replace caps, valves, or other equipment to prevent oil leaking while in transit.</p>

Sumber : SPCC-Loading procedures

2.7 Risk Assessment

Risk assessment merupakan suatu cara pengujian risiko dengan cara mengidentifikasi kejadian-kejadian yang mungkin terjadi dan memberikan sebuah nilai bahaya dalam skala tertentu (Fahreza, 2015). Didalam sebuah *risk assessment* dilakukan juga identifikasi terhadap faktor penyebab dari setiap kejadian dimana terdapat berbagai

macam faktor yang mungkin terjadi. Kemudian dilakukan perhitungan frekuensi yang mungkin terjadi pada setiap kejadian. Dari identifikasi konsekuensi dan perhitungan frekuensi maka dapat diketahui peluang masing-masing risiko tersebut. Selain itu konsekuensi dan frekuensi dari kejadian tersebut dapat dibuat menjadi *risk matrix* yang menunjukkan posisi dari risiko yang mungkin terjadi pada objek, sehingga dapat diketahui apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak.

Pengertian daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) merupakan perbatasan antara risiko itu dapat diterima atau tidak, akan tetapi masih dapat diterima dan merupakan batas minimal suatu risiko untuk dapat diterima. Upaya pengurangan dari risiko harus diimbangi dengan analisa biayanya. Apabila perkiraan risiko masih tidak dapat diterima, maka usaha untuk mengurangi risiko dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu diantaranya (Aliyah, 2014):

1. Mengurangi frekuensi
2. Mengurangi konsekuensi
3. Sebuah kombinasi dari keduanya

2.7.1 Hazard Identification

Hazard atau potensi bahaya didefinisikan sebagai karakteristik atau kelompok karakteristik yang memberikan potensi kerugian secara spesifik. Kerugian yang dimaksud antara lain Mudah Terbakar (*Flammability*) dan toksisitas (*Toxicity*) beberapa metodologi yang tersedia untuk mengidentifikasi bahaya dan ancaman dalam cara formal dan terstruktur. Metode-metode tersebut diantaranya adalah HAZOP (*Hazard and Operability*), Analisa Event-Tree dan Analisa Fault-Tree (Hayati, 2016).

2.7.1.1 HAZOP

The Hazard and Operability Study (HAZOP) adalah standar teknik analisis bahaya yang digunakan dalam

persiapan penetapan keamanan dalam suatu system baru atau modifikasi untuk suatu keberadaan potensi bahaya atau masalah operability nya. HAZOP adalah suatu metode identifikasi bahaya yang sistematis teliti dan terstruktur untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan yang mengganggu jalannya proses dan risiko yang terdapat pada suatu peralatan yang dapat menimbulkan risiko merugikan bagi manusia/fasilitas pada system (Pujiono, n.d.). Berikut merupakan istilah terminology yang dipakai untuk mempermudah pelaksanaan HAZOP antara lain sebagai berikut:

1. *Proses*
Proses apa yang sedang terjadi atau lokasi dimana proses tersebut berlangsung.
2. *Sumber Hazard*
Sumber bahaya (*hazard*) yang ditemukan di lapangan.
3. *Deviation* (Penyimpangan)
Hal-hal apa saja yang berpotensi untuk menimbulkan risiko
4. *Cause* (Penyebab)
Sesuatu yang kemungkinan besar akan mengakibatkan penyimpangan
5. *Consequence* (Akibat/Konsekuensi)
Akibat dari *deviation* yang terjadi yang harus diterima oleh system
6. *Action* (Tindakan)
Tindakan dibagi menjadi dua kelompok yaitu tindakan yang mengurangi atau menghilangkan akibat (konsekuensi). Namun yang paling utama adalah menghilangkan penyebabnya dan mengurangi konsekuensinya.

7. *Severity*

Merupakan tingkat keparahan yang diperkirakan dapat terjadi

8. *Likelihood*

Kemungkinan terjadinya konsekuensi dengan system pengamanan yang ada

9. *Risk*

Risk atau risiko merupakan nilai risiko yang didapatkan dari kombinasi kemungkinan *likelihood* dan *severity*.

Langkah umum pengerjaan HAZOP antara lain :

1. Pengidentifikasian keselamatan terkait dengan potensi biaya (*hazard*) dan permasalahan operasi. Berkaitan dengan perancangan dan operasi sistem tersebut yang dapat berpengaruh terhadap manusia disekitar potensi biaya.
2. Mengidentifikasi *safeguard* yang ada dan SOP operasinya yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya konsekuensi yang disebabkan oleh potensi bahaya
3. Menentukan dampak dari konsekuensi untuk permasalahan yang diidentifikasi
4. Mengevaluasi ketersediaan *safeguard* dan prosedurnya
5. Rekomendasi tambahan *safeguard* jika diperlukan

Berikut adalah contoh identifikasi hazard menggunakan HAZOP

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 1 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
1	NO	No Flow	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation not acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked				
			4. Butterfly valve 32V1031 blocked				
			5. Butterfly valve 32V6031 blocked				
			6. Butterfly valve 32V6002 blocked				

Gambar 2.7 Identifikasi HAZOP
 Sumber: <http://images.slideplayer.com>

2.7.2 Analisa Frekuensi

Analisa Frekuensi merupakan suatu analisa mengenai seberapa sering atau berapa peluang munculnya suatu kejadian dengan hazard tertentu. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk analisa frekuensi, metode tersebut adalah sebagai berikut:

2.7.2.1 Fault Tree Analysis (FTA)

FTA (*Fault Tree Analysis*) adalah metode analisa, dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan disebut *undesired event* terjadi pada system, dan system tersebut kemudian dilakukan analisa dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi pada *undesired event* tersebut. Metode FTA dapat akan diketahui kegagalan-kegagalan yang menjadi penyebab terjadinya *undesired event*, dan probabilitas terjadinya *undesired event* tersebut. Menentukan penyebab *undesired event* dianalisa secara kualitatif sedangkan menentukan *probabilitas* dianalisa secara kuantitatif. Dengan

melakukan analisa kualitatif, maka dapat diketahui bagian sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang. Analisa kuantitatif dilakukan untuk mengetahui berapa *probabilitas* terjadinya *undesired event*. Apabila angka tersebut mendekati 1, maka sistem tersebut perlu diperbaiki atau perlu dilakukan perawatan pada bagian yang gagal berdasarkan hasil analisa kualitatif. Dengan menurunkan angka probabilitas kegagalan-kegagalan tersebut, sistem akan semakin baik.

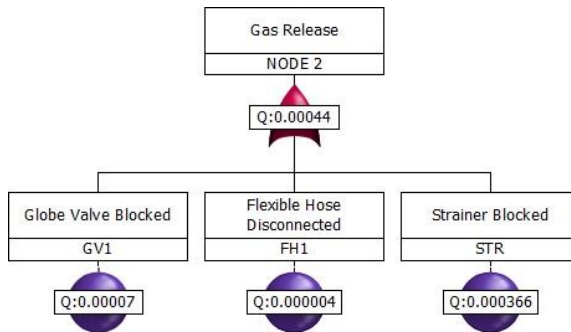
Tools yang digunakan adalah *Logical Diagram*. *Logical Diagram* ini terdiri dari simbol gate yang mendeskripsikan antara penyebab, dan simbol karakter penyebab kegagalan. Awal dari identifikasi FTA adalah mengidentifikasi kegagalan pada suatu sistem secara umum (*top event*), yang kemudian *top event* tersebut akan di *breakdown* hingga menjadi *basic event*. Keduanya akan dihubungkan dengan *logical gate*. Semua kemungkinan yang didapatkan dari *basic event* akan dihubungkan dengan *AND gate* atau *OR gate*.

Istilah-istilah dalam *Fault Tree Analysis* adalah sebagai berikut:

1. *Event* : penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari system.
2. *Top Event* : Kejadian yang dikehendaki pada “puncak” yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan.
3. *Basic Event* : Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar.

Dari metode *Fault Tree Analysis* diatas dapat berfungsi untuk menganalisis frekuensi akibat dari kejadian

yang tidak diinginkan. Berikut adalah contoh dari *Fault Tree Analysis*.



Gambar 2.8 *Fault Tree Analysis*

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *TOP event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logic gate*). Output dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh event yang masuk ke gate tersebut. Sebuah FTA secara umum dilakukan dalam 5 tahapan, yaitu:

1. Mendefinisikan problem dan kondisi batas (*boundary condition*) dari system
2. Pengkonstruksian *fault tree*
3. Mengidentifikasi minimal *cut set* atau minimal *path set*
4. Analisa kualitatif dari *fault tree*
5. Analisa kuantitatif *fault tree*

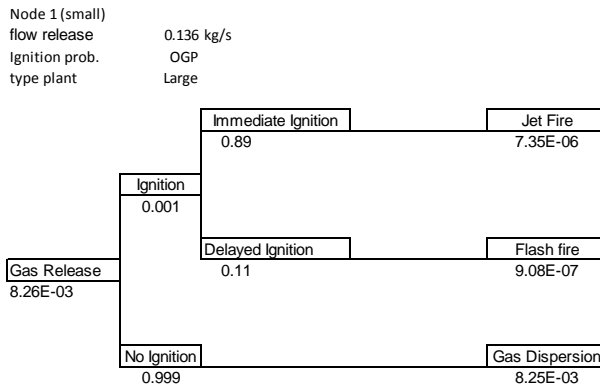
2.7.2.2 *Event Tree Analysis (ETA)*

Event Tree Analysis (ETA) adalah suatu teknik analisa dengan menggunakan diagram logika untuk mengevaluasi kemungkinan hasil-hasil yang diperoleh (*possible outcomes*) bila terjadi suatu kejadian awal (*initiating event*) karena kegagalan peralatan atau kesalahan manusia

(Ragheb , 2013). *Event Tree Analysis* (ETA) digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan *accident* yang dapat terjadi. Berikut adalah contoh dari ETA. Berikut adalah prosedur pelaksanaan *Event Tree Analysis*:

1. Mengidentifikasi *initialing event* yang terjadi pada tipe kecelakaan yang terjadi.
2. Mengidentifikasi *safety function* yang didesain untuk mengurangi *initialing event*.
3. Menyusun *event tree*
4. Menyusun urutan konsekuensi kecelakaan yang terjadi
5. Menentukan urutan minimal *cut set*

Menentukan *initianing event* adalah bagian terpenting dari *event tree analysis*, dapat berupa sistem atau *equipment failure*, *human error*, atau gangguan pada proses tergantung pada seberapa baik sistem atau operator merespon kejadian tersebut.



Gambar 2.9 *Event Tree Analysis*

Komponen-komponen yang terdapat pada metode ETA diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Initiating Event* (IE)

Merupakan kesalahan atau peristiwa yang tidak diinginkan yang memulai awal dari rangkaian kecelakaan. *Initiating Event* dapat mengakibatkan kecelakaan tergantung pada sukses atau tidaknya pelaksanaan metode penanggulangan bahaya yang dirancang ke dalam sistem.

2. *Pivotal Event*

Peristiwa perantara penting yang terjadi antara kejadian awal dan kecelakaan akhir. *Pivotal Event* merupakan kejadian kegagalan maupun kesuksesan dari metode keselamatan yang ditetapkan untuk mencegah *Initiating Event* agar tidak mengakibatkan sebuah kecelakaan. (Rikayanti, 2015)

2.7.3 Analisa Konsekuensi

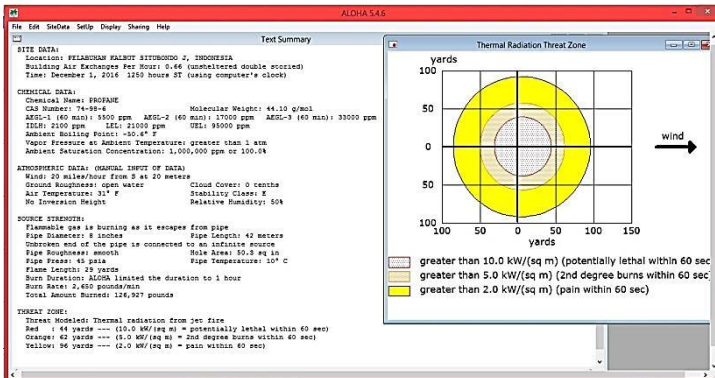
Analisa Konsekuensi dapat dinyatakan sebagai jumlah orang yang terpapar atau terkena dampak (cedera atau terbunuh) *property* yang mengalami kerusakan, banyaknya tumpahan, serta wilayah yang terkena dampak. Konsekuensi merupakan bagian terpenting dari proses penilaian risiko selain frekuensi. Sebelum melakukan perhitungan konsekuensi, harus tersedia terlebih dahulu data-data mengenai objek yang akan dihitung konsekuensinya serta data-data dari objek penyebaran risikonya. Ada beberapa metode untuk mensimulasikan konsekuensi dari suatu kejadian, antara lain dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA 5.4.4

2.7.3.1 ALOHA 5.4.4

ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) adalah program pemodelan untuk memprediksi pergerakan dan *disperse* gas kimia berbahaya merupakan sebagai bentuk respon dalam keadaan darurat. Jika salah satu kondisi atmosfer (misalnya, kecepatan angin) berubah secara

substansial selama respon, maka pengguna harus memperbaiki input dan membuat plot *threat zone* baru karena plot yang lama mungkin tidak lagi akurat. ALOHA ini dapat memperkirakan berapa banyak gas beracun yang keluar apabila terjadi kebocoran pada pipa gas, tangki, tumpahan minyak dan juga dapat menampilkan beberapa skenario kebakaran dan ledakan (Seattle, 2013).

Secara umum, ALOHA dapat memodelkan 3 kategori bahaya, dispersi gas, kebakaran, dan ledakan. Dalam pemodelan dispersi gas, ALOHA dapat menunjukkan sebaran gas dengan kondisi lingkungan tertentu serta kadar *toxic* dalam gas tersebut dalam satuan ppm. Dalam hal kebakaran contohnya *jet fire* atau *pool fire*, ALOHA dapat memprediksi thermal radiation dan dampaknya pada sekitar lokasi kebakaran. Sedangkan untuk pemodelan ledakan sebagai contoh BLEVE atau *flash fire*, ALOHA dapat menampilkan overpressure dari ledakan dan juga dampaknya ke lingkungan sekitar ledakan.



Gambar 2.10 Fire modelling dengan ALOHA 5.4.4

2.8 Jet Fire

Jet fire merupakan salah satu jenis kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran atau lepasnya bahan bakar bertekanan dari tangki atau pipa yang dimampatkan. *Jet fire* dapat terjadi apabila bahan bakar yang dilepaskan dalam fase gas dan bertekanan tinggi. *Jet fire* ini akan terus berlangsung dengan stabil ke titik yang dekat dengan daerah sumber kebocoran, sampai terjadi pelepasan terhenti. *Jet fire* dapat dijadikan sebagai salah satu skenario konsekuensi dalam skripsi ini karena selama proses *unloading* muatan yakni perpindahan LPG dari cargo tank kapal Pertamina Gas 1 menuju tangki penyimpanan kapal Gas Arar dengan menaikkan temperature sehingga otomatis maka proses *unloading* LPG berlangsung dengan tekanan yang tinggi. Selain itu, sifat dari LPG yang berubah fase dari cair saat dimampatkan dan menjadi gas pada tekanan udara normal (1atm) memiliki potensi untuk menyebabkan jet fire. Jet fire dapat mengakibatkan beberapa kerugian, seperti kerusakan yang sangat parah disekitar lokasi kebocoran sehingga menyebabkan kematian pada manusia yang sedang beraktifitas disekitar kebocoran (Roberts, 2001).



Gambar 2.11 *Jet Fire*

Sumber : <https://arshadahmad.wordpress.com>

2.9 Flash fire

Flash Fire atau Api Kilat merupakan suatu peristiwa kebakaran dalam bentuk kilatan api yang dapat berlangsung singkat dengan cepat rambat api dibawah cepat rambat

kecepatan suatu. *Flash fire* dapat terjadi karena adanya bahan yang mudah terbakar (*flammables*) bercampur dengan udara. Besar atau kecilnya jangkauan *flash fire* tergantung pada jumlah *flammable vapour* yang terbentuk. Jenis api ini akan mengeluarkan energi panas yang tinggi sekitar 0,1 – 0,3 psi sehingga dapat menghanguskan benda atau manusia yang berada disekitarnya. Kebakaran jenis ini sering terjadi dalam kasus kebocoran gas LPG didalam suatu ruangan. Udara panas yang dihasilkan oleh *Flash fire* dapat mengakibatkan gangguan pernapasan, sesak napas, hingga menyebabkan kematian. Kilatan api pada *flash fire* dapat mengakibatkan cedera hingga kematian (Rew & Spencer, 2015).



Gambar 2.12 *Flash fire*
Sumber : <http://cdn.abclocal.go.com>

2.10 Vapour Cloud Explosion

Vapour Cloud Explosion (VCE) merupakan salah satu peristiwa ledakan yang terjadi karena adanya ignisi dari pelepasan gas yang mudah terbakar. Gas atau *vapour cloud* yang dinyalakan pada kondisi tertentu akan menyebabkan suatu ledakan. Terdapat dua jenis ledakan yang disebabkan oleh VCE yaitu Detonasi dan Deflagrasi. Terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa *vapour cloud explosion* termasuk deflagrasi (Berg, 2015).



Gambar 2.13 VCE

Sumber : <http://www.unknownexplorers.com>

2.11 *Gas dispersion*

Gas dispersion merupakan peristiwa rilisnya gas dalam fasa gas akibat adanya kebocoran pipa atau komponen lain dalam suatu fasilitas. Ada beberapa kemungkinan fenomena ini dapat terjadi dalam fasilitas gas, antara lain :

1. Gas ada pada dalam tekanan yang tinggi
2. Kebocoran pipa, katup atau komponen lain
3. Tidak ada sumber panas atau api

Akibat yang ditimbulkan oleh *Gas dispersion* adalah gangguan fungsi pernapasan manusia akibat berkurangnya kadar oksigen di udara bebas.

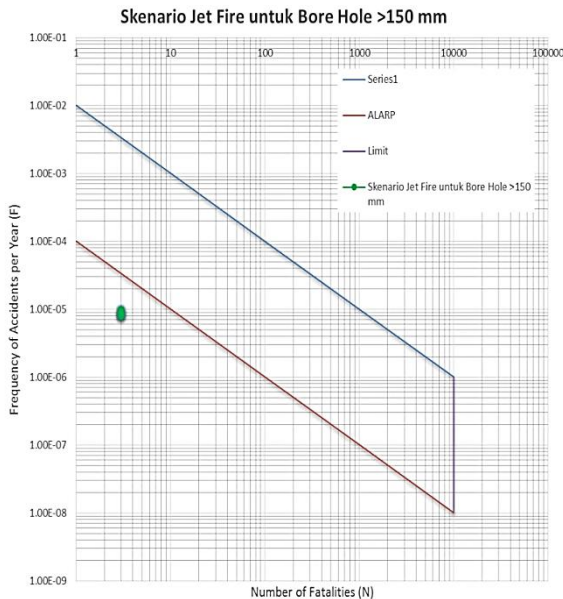
Gambar 2.14 *Gas dispersion*

Sumber : <http://www.exponent.com>

2.12 *F-N Curve*

F-N Curve merupakan sebuah kurva yang menunjukkan hubungan antara frekuensi kejadian dan jumlah korban yang terkena dampak kejadian (jumlah korban yang meninggal). *F-N Curve* terdiri dari 2 sumbu, sumbu X dan sumbu Y. Sumbu X merepresentasikan jumlah korban, dan sumbu Y merepresentasikan frekuensi kejadian. Keduanya ditampilkan melalui perpotongan sumbu yang menghasilkan jumlah korban per satuan waktu (pada umumnya tahun).

Pada skripsi ini, representasi risiko akan disajikan sesuai dengan standar *UK HSE. Acceptance criteria* dari risiko ini apabila nilai risiko berada dalam fase *acceptable* atau *ALARP* (*As Low As Reasonably Practicable*) dengan nilai antara 10^{-2} – 10^{-4} untuk frekuensi dan 1-1000 jumlah kematian dalam satu tahun.

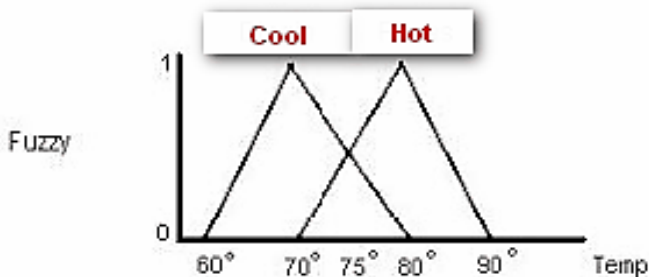


Gambar 2.15 *F-N Curve*

Sumber : UK HSE

2.13 Metode Fuzzy

Fuzzy system (sistem kabur) didasari atas konsep himpunan kabur yang memetakan domain input ke dalam domain output. Perbedaan mendasar himpunan tegas dengan himpunan kabur adalah nilai keluarannya. Himpunan tegas hanya memiliki dua nilai output yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan kabur memiliki banyak nilai keluaran yang dikenal dengan nilai derajat keanggotaannya. Logika fuzzy adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Dimana logika klasik (*crisp*) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binary (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika fuzzy menggantikan kebenaran Boolean dengan tingkat kebenaran. Logika fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistic, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat”. Pendekatan fuzzy memiliki kelebihan pada hasil yang terkait dengan sifat kognitif manusia, khususnya pada situasi yang melibatkan pembentukan konsep, pengenalan pola, dan pengambilan keputusan dalam lingkungan yang tidak pasti atau tidak jelas (Falopi, 2015).



Gambar 2.16 Fuzzy Logic

Sumber : <https://www.researchgate.net>

Berdasarkan gambar diatas terlihat perbedaan antara kedua logika, logika fuzzy memperhitungkan bilangan diantara 0 dan 1 sehingga apabila terdapat data-data yang tidak jelas dan berada didalam ambiguitas dapat diselesaikan dengan menggunakan logika fuzzy.

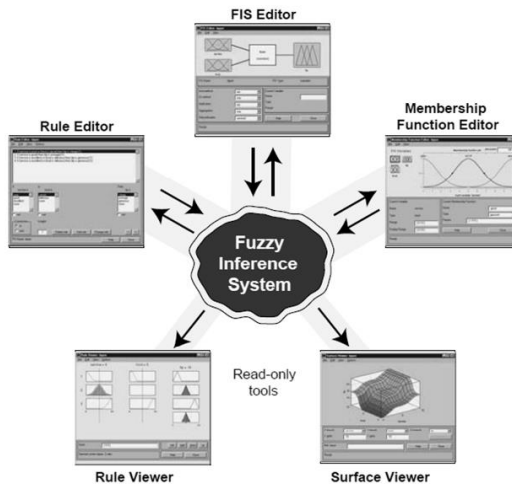
2.13.1 Fuzzy Inference System

Meskipun metode tradisional seperti *Fault Tree Analysis* (FTA) atau *Event Tree Analysis* (ETA), telah digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan keamanan atau risiko analisis, namun mereka bergantung pada data statistik atau sejarah yang mungkin tidak selalu diberikan; sehingga metodologi tradisional mungkin memiliki efektivitas yang terbatas. Salah satu cara yang layak untuk mengatasi dengan ketidakpastian dari cukup atau tidak tepat data penggunaan *fuzzy logic* (Stavrou & Ventikos, 2014). *Fuzzy Inference System* merupakan penarikan kesimpulan dari sekumpulan kaidah fuzzy. Dalam industri maritim, metode *Fuzzy Inference System* telah diterapkan untuk pencegahan kecelakaan laut, untuk mengevaluasi skenario kecelakaan atau untuk melakukan analisis keselamatan untuk sistem kelautan. Tujuan dari skripsi ini adalah untuk menerapkan *Fuzzy Inference System* (FIS) sebagai pendekatan baru untuk penilaian risiko untuk setiap fase individu pada operasi transfer STS (Stavrou & Ventikos, 2014).

Keuntungan terbantahkan dari pendekatan Fuzzy harus terutama berkaitan dengan kemampuan untuk menggunakan istilah alam atau bahasa untuk mengekspresikan varians variabel sementara pada saat yang sama memberikan alat yang efektif untuk pengobatan atau kombinasi yang berbeda variabel. Cara yang paling umum untuk menggunakan sistem inferensi fuzzy adalah melalui metode langsung, seperti Mamdani dan metodologi Sugeno ini. Sistem inferensi fuzzy diterapkan untuk penilaian risiko perilaku untuk transfer STS

dari minyak bumi produk, atau gas cair (LPG, LNG) (Falopi, 2015). Toolbox dari Matlab terdiri dari peralatan berikut:

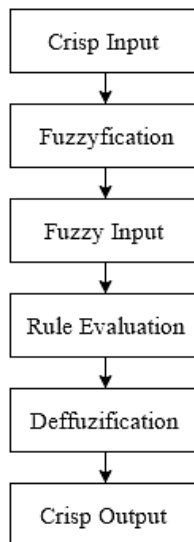
- a. **Fuzzy Inference System (FIS) Editor**: editor yang digunakan untuk memasukkan variabel untuk engine FIS.
- b. **Membership function editor**: merupakan editor yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk dari semua fungsi keanggotaan terkait dengan setiap variabel.
- c. **Rule Editor**: Editor ini digunakan untuk memasukkan aturan dan juga untuk pembobotan masing-masing untuk menentukan perilaku sistem.
- d. **Rule Viewer**: editor ini digunakan untuk menggambarkan diagram inferensi fuzzy. Hal ini juga digunakan sebagai alat diagnostik untuk melihat bagaimana engine Fuzzy bekerja.
- e. **Surface Viewer**: editor ini adalah untuk melihat output mengenai masing-masing dari input secara terpisah dan juga menghasilkan dan plot peta permukaan output untuk system (Stavrou & Ventikos, 2014)



Gambar 2.17. The Toolbox of Fuzzy Inference System in Matlab

Sumber: <https://www.researchgate.net>

Sistem inferensi fuzzy (FIS) adalah sebuah *framework* komputasi populer berdasarkan pada konsep teori himpunan fuzzy, aturan *if - then* fuzzy, dan penalaran fuzzy. Tiga komponen konsep FIS yaitu : basis aturan, mengandung seleksi dari aturan – aturan fuzzy; basis data, mendefinisikan MF – MF yang digunakan dalam aturan fuzzy; dan mekanisme penalaran, melakukan prosedur inferensi pada aturan – aturan dan fakta – fakta yang diberikan untuk menarik output atau konklusi yang *reasonable*. FIS dapat mengambil input fuzzy maupun input tegas (sebagai fuzzy singleton), tapi output yang dihasilkan hampir selalu himpunan fuzzy. Kadang kala output tegas dibutuhkan, sehingga dibutuhkan metode defuzifikasi untuk mengekstrak nilai tegas paling baik merepresentasikan himpunan fuzzy. Model umum dari sistem inferensi fuzzy ditunjukkan pada gambar dibawah ini (Kusumadewi, 2013):

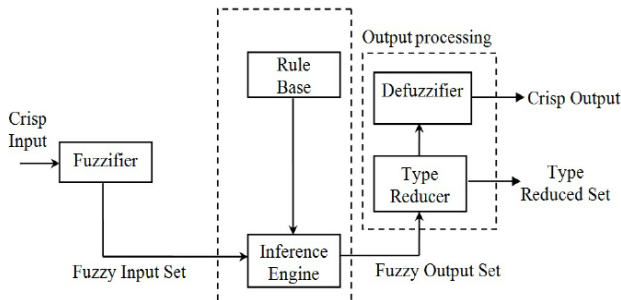


Gambar 2.18. Diagram blok System Inferensi Fuzzy

Sumber: <https://www.researchgate.net>

Sistem inferensi fuzzy memiliki tiga komponen, yaitu (L.A, 1965):

1. **Fuzzifikasi** : Mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (crisp input) ke dalam bentuk fuzzy input.
2. **Inference** : Melakukan penalaran menggunakan fuzzy input dan fuzzy rules yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan fuzzy output.
3. **Defuzzifikasi** : Mengubah fuzzy output menjadi crisp value berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan (Saelan, 2009). Prosedur keseluruhan urutan FIS disajikan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Fuzzy Logic Application Flow Chart

Sumber: <https://www.researchgate.net>

2.13.2 Fuzzifikasi

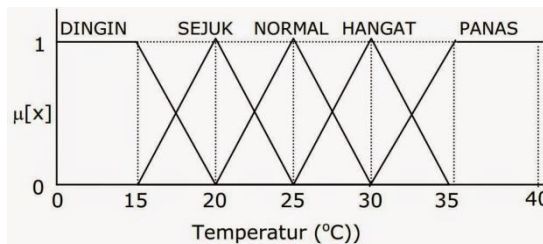
Sistem inferensi fuzzy bekerja dengan aturan dan input fuzzy, maka langkah pertama adalah mengubah input tegas yang diterima, menjadi input fuzzy. Untuk masing-masing variable input, ditentukan suatu fungsi fuzzifikasi

(*fuzzification function*) yang akan mengubah variable masukan yang tegas (yang biasa dinyatakan dalam bilangan real) menjadi nilai pendekatan fuzzy.

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa derajat kebenaran untuk konsekuensi dalam permasalahan tersebut dihasilkan nilai yang apabila ditulis berbentuk crisp dihasilkan sebagai berikut:

$$\mu(\text{severity is critical}) = 0.75$$

$$\mu(\text{severity is moderate}) = 0.25$$



Gambar 2.20. Ketetapan derajat kebenaran untuk probabilitas

Sumber: <https://www.researchgate.net>

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa derajat kebenaran untuk probabilitas dalam permasalahan tersebut dihasilkan nilai yang apabila ditulis berbentuk *crisp* dihasilkan sebagai berikut:

$$\mu(\text{probability is occasional}) = 0.7$$

$$\mu(\text{probability is seldom}) = 0.3$$

2.13.3 Inference

Penalaran fuzzy sering disebut juga dengan penalaran hampiran merupakan suatu cara dalam penarikan kesimpulan yang berdasarkan seperangkat implikasi fuzzy dan suatu fakta yang diketahui. Penarikan kesimpulan dalam logika klasik didasarkan pada tautology, yaitu proposisi-proposisi yang

selalu benar, tanpa tergantung pada nilai kebenaran proposisi-proposisi penyusunnya.

Table 2.5 Saverity Categories

Description	Category	Environmental, Safety, and Health Result Criteria
Catastrophic	I	Could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.
Critical	II	Could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, loss exceeding \$200K but less than \$1M, or reversible environmental damage causing a violation of law or regulation.
Marginal	III	Could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days (s), loss exceeding \$10K but less than \$200K, or mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished.
Negligible	IV	Could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation.

Sumber : MIL-STD-882D

Table 2.6 Probability Categories

Description	Level	Specific Individual Item	Fleet or Inventory
Frequent	A	Likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than 10^{-1} in that life.	Continuously experienced
Probable	B	Will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-1} but greater than 10^{-2} in that life.	Will occur frequently
Occasional	C	Likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-2} but greater than 10^{-3} in that life.	Will occur several times.
Remote	D	Unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-3} but greater than 10^{-6} in that life.	Unlikely, but can reasonably be expected to occur.
Improbable	E	So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than 10^{-6} in that life.	Unlikely to occur, but possible.

Sumber : MIL-STD-882D

Table 2.6 Risk Assessment Matrix

Probability (Likelihood)	Consequence (Severity)			
	Catastrophic I	Critical II	Marginal III	Negligible IV
Frequent A	High	High	Serious	Medium
Probable B	High	High	Serious	Medium
Occasional C	High	Serious	Medium	Low
Remote D	Serious	Medium	Medium	Low
Improbable E	Medium	Medium	Medium	Low

Berdasarkan Table 2.6 Risk assessment matrix maka terdapat beberapa rule, yaitu :

1. Rule (A) : If Probability is Improbable and consequence is Negligible then risk is Low
2. Rule (B) : If Probability is Remote and Consequence is Marginal then risk is Medium
3. Rule (C) : If Probability is Occasional and Consequence is Critical then risk is Serious
4. Rule (D) : If Probability is Frequent and Consequence is Catastrophic then risk is High

2.13.4 Komposisi

Apabila semua rule telah ditentukan dan dapat menghasilkan risiko dalam rentang high, medium dan low maka semua subset fuzzy akan digabungkan menjadi satu untuk mendapatkan subset fuzzy tunggal dari setiap variable output.

2.13.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi digunakan untuk menghasilkan nilai variable solusi yang diinginkan dari satu daerah konsekuen fuzzy. Karena system inferensi hanya dapat membaca nilai

yang tegas, maka diperlukan suatu mekanisme untuk mengubah nilai fuzzy output itu menjadi nilai yang tegas. Jika masukan dari fuzzifikasi adalah sebuah bilangan tunggal, yaitu harga variable masukan, dan keluarannya adalah derajat keanggotaan dalam suatu fuzzy set dalam antecedent, maka masukan dan keluaran defuzzifikasi adalah kebalikannya. Pemilihan defuzzifikasi biasanya ditentukan oleh beberapa kriteria yaitu:

1. Masuk akal (*Plausibility*), artinya secara intuitif bilangan tegas Z dapat diterima sebagai bilangan yang mewakili himpunan fuzzy kesimpulan dari semua himpunan fuzzy output untuk setiap aturan.
2. Perhitungan sederhana (*Computational simplicity*), artinya diharapkan perhitungan untuk menentukan bilangan defuzzifikasi dari semua aturan adalah sederhana.
3. Kontinuitas (*Continuity*), diartikan perubahan kecil pada himpunan fuzzy tidak mengakibatkan perubahan besar pada bilangan defuzzifikasi.

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode MoM (*Mean of Maximum*). Metode ini memperoleh solusi tegas dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- n : number of quantized output conclusions
 xi : the support value of the i-th membership function
 μ_i : degree of truth of the i-th membership function.

2.13.6 Metode Mamdani

Metode Mamdani ini mungkin adalah proses FIS paling dikenal dalam teori himpunan fuzzy. Hal itu diusulkan

pada tahun 1975 oleh Ebrahim Mamdani sebagai upaya untuk mengendalikan para gabungan set up mesin uap dan boiler oleh sintesis seperangkat aturan kontrol linguistik yang diperoleh dari operator manusia yang berpengalaman (Munir, n.d.). Dalam jenis Inferensi Mamdani, fungsi keanggotaan merupakan output fuzzy set. Penelitian ini menggunakan toolbox MATLAB untuk sistem inferensi fuzzy (FIS) untuk menerapkan metodologi Mamdani untuk operasi transfer STS (Stavrou & Ventikos, 2014). Untuk mendapatkan output (hasil), diperlukan 4 tahapan:

1. Pembentukan himpunan fuzzy

Menentukan semua variable yang terkait dalam proses yang akan ditentukan. Untuk masing-masing variable input maka ditentukan pula suatu fungsi fuzzifikasi yang sesuai. Pada metode Mamdani, baik variable input maupun variable output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Menyusun basis aturan, yaitu aturan-aturan berupa implikasi-implikasi fuzzy yang menyatakan relasi antara variable input dengan variable output. Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. bentuk umumnya adalah sebagai berikut:

“Jika a adalah A_i dan b adalah B_i , maka c adalah C_i ”

Dengan A_i , B_i , dan C_i adalah predikat-predikat fuzzy yang merupakan nilai linguistic dari masing-masing variable. Banyaknya aturan ditentukan oleh banyaknya nilai linguistic untuk masing-masing variable masukan.

3. Komposisi aturan

Apabila system terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi system fuzzy, yaitu:

a. Metode Max (Maximum)

Solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (gabungan). Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

Misalkan ada 4 aturan (proposisi) sebagai berikut:

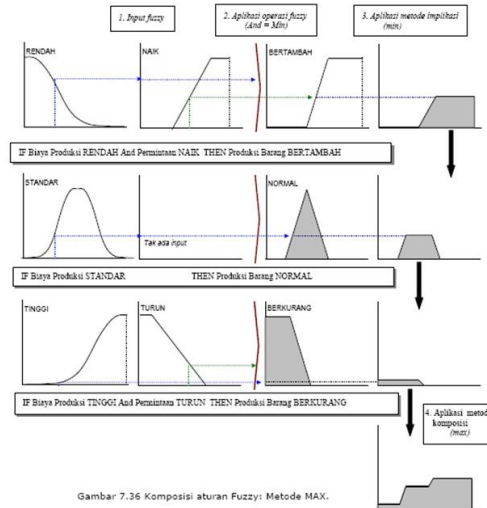
Rule (A) : If Probability is Improbable and consequence is Negligible then risk is Low

Rule (B) : If Probability is Remote and Consequence is Marginal then risk is Medium

Rule(C) : If Probability is Occasional and Consequence is Critical then risk is Serious

Rule (D) : If Probability Frequent and Consequence is Catastrophic then risk is High

Apabila digunakan fungsi implikasi MIN, maka metode komposisi ini sering disebut dengan nama MAX-MIN atau MIN-MAX atau MAMDANI.



Gambar 7.36 Komposisi aturan Fuzzy: Metode MAX.

Gambar 2.21. Komposisi aturan Fuzzy, Metode MAX

Sumber: <https://www.researchgate.net>

Gambar 2.21. menunjukkan proses inferensi dengan menggunakan metode Max dalam melakukan komposisi aturan.

b. Metode Additive (Sum)

Solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan penjumlahan terhadap semua output daerah fuzzy. Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-I

$\mu_{kf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-I

c. Metode Probabilistik (Probor)

Solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan perkalian terhadap semua output daerah fuzzy. Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan melakukan product terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}(x_i) = (\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) - (\mu_{sf}(x_i) \times \mu_{kf}(x_i)) \dots\dots (2.4)$$

Dengan:

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen fuzzy sampai aturan ke-i

4. Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai output. Ada beberapa cara metode penegasan yang biasa dipakai pada komposisi aturan Mamdani adalah sebagai berikut:

a. Metode Centroid (*Composite Moment*)

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \text{ untuk variable kontinu, atau}$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad \text{untuk variable diskret}$$

b. Metode Bisektor

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$z_p = \text{sedemikian hingga } \int_{\mathcal{R}_1}^p \mu(z) dz = \int_p^{\mathcal{R}_n} \mu(z) dz \dots\dots\dots(2.5)$$

c. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

- n : number of quantized output conclusions;
- x_i : the support value of the i-th membership function;
- μ_i : degree of truth of the i-th membership function.

d. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang

memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Dari beberapa metode yang dapat digunakan dalam metode madani maka dalam skripsi ini metode defuzzifikasi yang akan dipakai adalah metode MoM (Mean of Maximum)

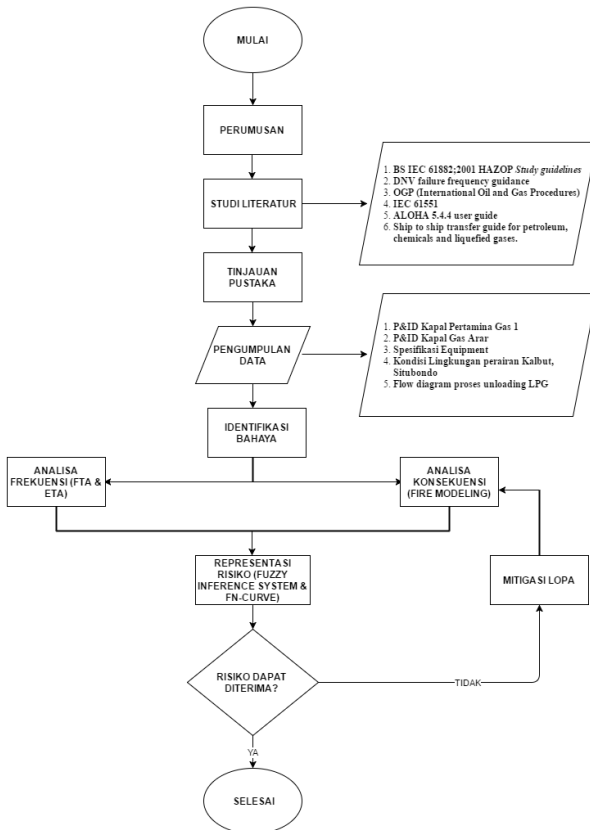
$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- n : number of quantized output conclusions;
- x_i : the support value of the i-th membership function
- μ_i : degree of truth of the i-th membership function.

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah gambaran umum mengenai prosedur dan langkah-langkah pengerjaan suatu penelitian. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini nantinya. Adapun tahapan-tahapannya dijelaskan dalam *flow chart* berikut :



Untuk mendapatkan hasil yang baik dan terstruktur, dalam pengerjaan skripsi ini diperlukan prosedur dan langkah-langkah pengerjaan yang sistematis. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam skripsi ini antara lain

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pengerjaan skripsi. Merupakan tahapan yang sangat penting, dimana pada tahap ini suatu permasalahan harus dipecahkan dan diselesaikan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian suatu masalah dapat dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dan diselesaikan dapat diketahui.

3.2 Studi Literatur

Apabila suatu permasalahan sudah diketahui, maka langkah berikutnya adalah studi literature. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mencari referensi untuk permasalahan-permasalahan yang ada dilengkapi dengan solusinya dan mempelajari kedua hal tersebut untuk dapat diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga dapat terencana hal yang harus dilakukan agar permasalahan dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara mencari paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan. Dalam hal ini referensi yang akan di pakai adalah sebagai berikut :

1. BS IEC 61882;2001 *HAZOP Study guidelines*
2. DNV *failure frequency guidance*
3. OGP (*International Oil and Gas Procedures*)
4. IEC 61511
5. ALOHA 5.4.4 *user guide*
6. Ship to Ship Transfer Guide for Petroleum, Chemicals and Liquefied Gases.
7. Paper dan jurnal tentang *Risk Assesment*

3.3 Pengumpulan Data

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan untuk memperoleh data dan informasi untuk membantu pengerjaan skripsi. Berikut adalah data yang dibutuhkan antara lain:

1. P&ID Kapal Pertamina Gas 1
2. P&ID Kapal Gas Arar
3. Spesifikasi *equipment*
4. Layout Kapal Pertamina Gas 1 dan Kapal Gas Arar
5. Kondisi Alam
6. Jumlah orang yang berada di masing-masing kapal

3.4 HAZOP Identification

Pada tahap selanjutnya dilakukan HAZOP Identification yang mengacu pada P&ID dan data lain yang ada. Proses Identifikasi antara lain :

1. Memahami seluruh proses pada kedua kapal
2. Memahami kegiatan operasinya
3. Mendefinisikan setiap sistem yang ada, setelah itu dilakukan pembagian node
4. Melakukan identifikasi deviasi pada setiap node
5. Identifikasi penyebab dan konsekuensi pada setiap node
6. Identifikasi *safeguard* yang ada
7. Mengisi tabel HAZOP dan analisa sebagai datanya

3.5 Analisa Frekuensi

Tujuan dari analisa frekuensi adalah untuk mengetahui nilai probabilitas dari setiap kegagalan yang terjadi pada setiap komponen dalam sistem. Dalam skripsi ini akan digunakan FTA dan ETA sebagai metode analisa frekuensinya. Analisa ini dibuat berdasarkan HAZOP yang telah diidentifikasi HAZOP yang telah diidentifikasi sebelumnya.

Langkah – langkah pembuatan FTA adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi masukan dan batasan

2. Membuat diagram *fault tree* dengan bantuan perangkat lunak *Relax*
3. Identifikasi *cut set*
4. Analisa dengan *cut set*
5. Analisa Kuantitatif

Sedangkan langkah – langkah pembuatan ETA adalah sebagai berikut :

1. Mendefinisikan masukan dan batasan
2. *Initial event* menggunakan nilai dari probabilitas dari FTA

3.6 Analisa Konsekuensi

Analisa Konsekuensi bertujuan untuk mengetahui kejadian atau bahaya apa yang mungkin dapat terjadi yang disebabkan oleh *hazard* atau potensi bahaya yang ada. Dalam skripsi ini analisa konsekuensi akan dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA 5.4.4. Konsekuensi yang akan di simulasikan berupa *jet fire*, *flash fire*, dan *Gas dispersion*

3.7 Representasi Risiko

Berdasarkan analisa *hazard*, frekuensi, dan konsekuensi yang sudah didapatkan, langkah selanjutnya adalah menganalisa risiko untuk menentukan tingkat risiko dari masing-masing skenario. Untuk mengetahui tingkatan risiko dari masing-masing skenario, dalam hal ini menggunakan 2 metode yaitu menggunakan F-N Curve dan Perangkat lunak Matlab dengan fungsi fuzzy. F-N curve digunakan untuk mengetahui apakah dari semua simulasi pemodelan tingkat risiko berada pada daerah *Acceptable*, *ALARP* dan *Unacceptable*. Namun Fuzzy dapat merepresentasikan tingkat risiko apakah berada pada *Low*, *Medium*, dan *High Risk*. Fuzzy merepresentasikan dengan menggunakan risk matrix yang terdapat pada perangkat lunak Matlab dengan fungsi Fuzzy tersebut.

3.8 Analisa Mitigasi

Apabila tingkat risiko berada pada tingkat yang tidak dapat diterima maka mitigasi perlu dilakukan. Dalam hal ini rekomendasi tindakan mitigasi akan diberikan melalui analisa LOPA (*Layer of Protection Analysis*). Dari LOPA akan diketahui IPL (*Independent Protection Layer*) yang dimiliki oleh suatu sistem yang risikonya tidak dapat ditolerir tersebut, dan apabila tingkat perlindungan suatu sistem masih tidak bisa ditolerir, maka ditambahkan IPL lagi supaya risiko tersebut dapat ditolerir.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Pada skripsi ini objek yang digunakan dalam penilaian risiko adalah proses transfer muatan yang berupa LPG dari kapal Pertamina Gas 1 menuju kapal Gas Arar yang berlangsung di Pelabuhan Kalbut, Situbondo. Proses unloading berlangsung pada kapal yang berbeda jenis tangki muatan, kapal Pertamina Gas 1 memuat dalam bentuk *refrigerated* dan kapal Gas Arar memuat dalam bentuk *pressurized*.

4.2 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

1. *Layout* dan data operasi unloading Kapal Penerima LPG Gas Arar.



Gambar 4.1 *Layout* Unloading muatan

Sumber: Slide presentation NSPC PT. Pertamina-Shipping

Selain itu juga didapatkan data-data operasi *unloading* dari Kapal Penerima LPG, antara lain :

- a. Data fluida kerja : C3 dan C4 (*Propane and Butane*)
 - b. Tekanan operasi : 25 barG
 - c. Temperatur operasi : *ambient*
2. P&ID *unloading system*
- Ada beberapa P&ID yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :
- a. P&ID *Cargo Tank Pertamina Gas 1*
 - b. P&ID *Cargo Tank Gas Arar*
 - c. P&ID *Cargo Heater*
 - d. P&ID *Fleksible Hose*
3. Data teknis *unloading*
- Beberapa data teknis *unloading* LPG pada Kapal Gas Arar adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Teknis Kapal Penerima LPG

No.	Spesifikasi Teknis Kapal Gas Arar	
1.	Min Tank Temperature	0 °C (all tanks)
2.	Kapasitas <i>Storage Cargo Tank 1</i> <i>Cargo Tank 2</i>	1750 m ³ 1750 m ³
3.	Max. Cargo Density	947 kg/m ³
4.	<i>Unloading rate</i>	1,5 MMscf/jam
5.	<i>Berth/unberth</i>	3 jam
6.	Waktu <i>unloading</i>	12 jam

4. Data Lingkungan
- Data lingkungan yang didapatkan yaitu berupa kondisi lingkungan pelabuhan merupakan tempat proses Ship to Ship transfer. Data-data tersebut antara lain:
- a. Suhu udara : 23-33° C

- b. Kelembaban : 67-98 %
 - c. Kecepatan angin : 10 - 20 knots
 - d. Curah hujan : 0,5 mm/tahun
5. Data Receiver
- a. Kapal Pertamina Gas 1 : 10 orang
 - b. Kapal Gas Arar : 10 orang

Semua data diatas dianalisa sesuai dengan permasalahan yang akan diteliti dan batasan masalah yang ada.

4.3 HAZOP Study

Hazard and Operability Study atau yang lebih dikenal dengan HAZOP adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya pada sebuah proses. Pendekatan yang dilakukan pada HAZOP adalah mengidentifikasi penyimpangan penyimpangan yang ada pada sebuah sub sistem pada sebuah fasilitas tertentu. Sesuai dengan standar BS IEC 61882 tentang HAZOP *guidelines*. Pengidentifikasian bahaya dilakukan dengan menggabungkan *guidewords* dan parameter pada P&ID fasilitas yang ingin diteliti .

4.3.1 Pembagian Node

Untuk memudahkan identifikasi maka P&ID fasilitas harus dibagi menjadi beberapa sistem yang biasa disebut dengan “node”. Pembagian node didasari oleh fungsi dari setiap sub sistem yang ada. Berikut pembagian Node pada proses Ship to Ship Transfer.

Table 4.2 dibawah ini memperlihatkan pembagian node berdasarkan sistem aliran fluida pada setiap equipment dan berdasarkan diameter pipa pada masing-masing equipment.

Tabel 4.2 Pembagian Node

No	Node	Deskripsi
1	<i>System 1</i>	Cargo Tank Pertamina Gas 1 menuju Manifold 1
2	<i>System 2</i>	Manifold 1 menuju Manifold 2
3	<i>System 3</i>	Manifold 2 menuju Cargo Tank Kapal Gas Arar

Berikut adalah penjelasan teknis mengenai setiap node yang telah dibagi,

1. Node 1, *System 1*

Pada sub system ini LPG dari tanki kapal Pertamina Gas 1 dipompa menuju ke cargo heater sebelum ditransfer untuk kapal Gas Arar. Gas akan dimampatkan sehingga tekanannya menjadi ± 18 bar selanjutnya LPG dialirkan menuju manifold 1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran.

Operating pressure : 16-20 bar

Operating temperature : -30°C

2. Node 2, *System 2*

Pada sub sistem ini LPG yang berasal dari kapal Pertamina Gas 1 akan ditransferkan ke kapal Gas Arar melalui hose. Spesifikasi fleksible hose yang digunakan adalah 8" x 300 ANSI dan 12" x 300 ANSI. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran A.

Operating pressure : 18-20 bar

Operating temperature : -15°C

3. Node 3, *System 3*

Pada sub sistem *LPG* yang ditransferkan melalui hose akan loading muatan untuk kapal Gas Arar, dalam proses loading muatan ini harus dipastikan tekanan sudah sesuai dengan yang dibutuhkan karena tangki untuk kapal Gas Arar adalah *fully pressurized*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran A.

Operating pressure : 18-20 bar

Operating temperature : -15°C

4.3.2 Penentuan Deviasi Sistem

Deviasi adalah perpaduan dari *guidewords* dan juga parameter proses. Parameter proses merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem. Seperti *pressure, temperature, flow, contamination*. Sedangkan *guidewords* merupakan batasan batasan yang menunjukkan penyimpangan penyimpangan yang terjadi. Seperti, *no, more, less, as well as*, dan lain sebagainya. Sebagai contoh deviasi yang umum dipakai dalam analisa ini adalah *more pressure*, dan *no flow* (Fauzi, 2016).

4.3.3 Penentuan *Cause* dan *Consequences*

Cause (penyebab kejadian) sangat erat kaitannya dengan *Consequences* (konsekuensi kejadian). Dari deviasi sistem dapat dianalisa penyebab dari deviasi tersebut. Dan dari *cause* dapat diketahui pula konsekuensi yang ditimbulkan pada sistem. Sebagai contoh, dalam suatu sistem terjadi deviasi *more pressure*. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya *valve* yang tidak dapat terbuka dengan sempurna atau tidak dapat terbuka sama sekali saat terjadi proses. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan tekanan atau *overpressure* dan dapat berakibat bocornya pipa dikarenakan tidak dapat menahan tekanan. Kebocoran pipa juga mengakibatkan *gas release* ke atmosfer dan jika ada sumber api maka dapat terjadi ledakan atau kebakaran (Fauzi, 2016).

4.3.4 Penentuan *Safeguards*

Safeguards merupakan instrument yang terpasang pada sistem untuk deteksi dini dan atau menanggulangi konsekuensi akibat adanya deviasi sistem. *Safeguards* pada sistem dapat berupa indicator dari parameter yang ada di sistem, atau instrument lain yang dapat menanggulangi

deviasi. Seperti *pressure relief valve* yang dapat menanggulangi *overpressure* (Fauzi, 2016).

4.3.5 Penentuan *Comments* dan *Action Required*

Comments merupakan tanggapan mengenai kondisi sistem apabila terjadi deviasi. Tanggapan yang di berikan dapat berupa dapat diterima atau tidaknya apabila suatu deviasi terjadi. Sebagai contoh apabila terjadi *overpressure* dan *gas release* ke atmosfer yang dapat menimbulkan bahaya.

Action Required merupakan rekomendasi yang dilakukan apabila deviasi pada sistem terjadi. Dapat berupa penambahan safeguards, atau penanganan secara prosedur.

Hasil analisa HAZOP dapat dilihat pada tabel 4.3-4.5 berikut:

Tabel 4.3 Node 1 *System 1*

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 1 of 21		
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1				P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY		
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship		
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS				
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP				
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED	
1	NO	No Flow	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation not acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter	
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked					
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked					
			4. Butterfly valve 32V1031 blocked					
			5. Butterfly valve 32V6031 blocked					
			6. Butterfly valve 32V6002 blocked					
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked	2. Cant transfer to Gas Arar				
			8. Butterfly valve 22V6002 blocked					
			9. Butterfly valve 32V7026 blocked					
			10. Swing Check Valve 32C6005 Failure					

Lanjutan Tabel 4.4 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 2 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
			13. Compressor cant work normally				
2	More	More Pressure	1. Increase Temperature at Cargo Heater	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	PRD (Pressure Release Device)	Situation not acceptable	Routine Check
			2. Flow Rate is too high				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Butterfly valve 32V1031 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Pressure Indicator		Device to prevent potential damage
			6. Butterfly valve 32V6031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			7. Butterfly valve 32V6002 blocked				
			8. Butterfly valve 32V6005 blocked				
			9. Butterfly valve 22V6002 blocked				
			10. Butterfly valve 32V7026 blocked				

Lanjutan Tabel 4.5 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1			SHEET = 3 of 21		
DRAWING NO		: 1256404			NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1			P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1			DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship		
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
2	More	More Pressure	12. Cargo Heater Failure				
3	More	More Temperature	1. Flow rate is too high	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to:	Temperature Indicator	Situation Not Acceptable	Consider Installation Gas Detector
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			4. Butterfly valve 32V1031 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
			5. Butterfly valve 32V6031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			6. Butterfly valve 32V6002 blocked				
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				
			8. Butterfly valve 22V6002 blocked				

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 4 of 21	
DRAWING NO		: 1256404					
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1 DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship					
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
4	Reverse	Reserve Flow	Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 or 32HV7022 blocked	Potential Reserve flow leading to equipment damage	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add non-return valve after all pump
5	NO	No Pressure	Pump cant work normally Booster pump failure	No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
6	Less	Less Flow	1. Leaks in pipe joint 2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 not fully open 3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 not fully open 4. Butterfly valve 32V1031 not fully open 5. Butterfly valve 32V6031 not fully open 6. Butterfly valve 32V6002 not fully open 7. Butterfly valve 32V6005	Due to the reduced flow rate because most the gas release to the environment Pipe/equipment leak because less flow and lead to: 1. Jetfire (immediate ignition) 2. Flashfire (delayed ignition and no confinement) 3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Flow Meter	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe

Lanjutan Tabel 4.8 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1		SHEET = 6 of 21	
DRAWING NO		: 1256404		NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1		P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1		DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP	
				ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS COMMENT ACTION REQUIRED
12	Other Than	Other Than Occupational Safety		No additional significant is issues of cause identified	

Lanjutan Tabel 4.9 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1			SHEET = 7 of 21		
DRAWING NO		: 1256404			NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2			P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1			DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP	ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
1	NO	No Flow	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation not acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked				
			4. Butterfly valve 32V2000 blocked				
			5. Butterfly valve 32V6032 blocked				
			6. Butterfly valve 32V6002 blocked				
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				
			8. Butterfly valve 22V6002 blocked				

Lanjutan Tabel 4.10 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 8 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
			13. Compressor cant work normally				
2	More	More Pressure	1. Increase Temperature at Cargo Heater	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	PRD (Pressure Release Device)	Situation not acceptable	Routine Check
			2. Flow Rate is too high				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Butterfly valve 32V2000 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Pressure Indicator		Emergency Shutdown and Emergency Alarm
			6. Butterfly valve 32V6032 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			7. Butterfly valve 32V6002 blocked				
			8. Butterfly valve 32V6005 blocked				

Lanjutan Tabel 4.11 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 9 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP	
						ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
2	More	More Pressure	12. Cargo Heater Failure				
3	More	More Temperature	1. Flow rate is too high	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to:	Temperature Indicator	Situation Not Acceptable	Consider Installation Gas Detector
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Butterfly valve 32V2000 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Butterfly valve 32V6032 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
			6. Butterfly valve 32V6002 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				

Lanjutan Tabel 4.12 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 10 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
4	Reverse	Reserve Flow	Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 or 32HV7022 blocked	Potential Reserve flow leading to equipment damage	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add non return valve after all pump
5	NO	No Pressure	Pump cant work normally	No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			Booster pump failure				
6	Less	Less Flow	1. Leaks in pipe joint	Due to the reduced flow rate because most the gas release to the environment	Flow Meter	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 not fully open				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 not fully open	Pipe/equipment leak because less flow and lead to:			
			4. Butterfly valve 32V2000 not fully open	1. Jetfire (immediate ignition)			
			5. Butterfly valve 32V6032 not fully open	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			

Lanjutan Tabel 4.13 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 11 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
			9. Butterfly valve 32V7026 not fully open 10. Swing Check Valve 32C6005 Failure		Safety Valve	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe
7	Other Than	Other Than Destination	line rupture, and LPG leakage before reach the cargo heater	Environmental contamination and lead to:	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Specify that proposed flow trip should have a sufficiently rapid response to prevent an explosion
				1. Jetfire (immediate ignition)			
				2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)	Integrity of Piping		
				3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
				4. Gas Dispersion (no ignition)			

Lanjutan Tabel 4.14 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 12 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 3				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG				DESIGN PRESS	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG				DESIGN TEMP	
		SOURCE : TANK LPG SHIP				OPERATING PRESS	
		DESTINATION : MANIFOLD 1				OPERATING TEMP	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
1	NO	No Flow	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation not acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked				
			4. Butterfly valve 32V3000 blocked				
			5. Butterfly valve 32V3031 blocked				
			6. Butterfly valve 32V6031 blocked				
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				
			8. Butterfly valve 22V6002 blocked				
			9. Butterfly valve 32V7026 blocked				

Lanjutan Tabel 4.15 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 13 of 21		
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 3				P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship		
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED	
			13. Compressor cant work normally					
2	More	More Pressure	1. Increase Temperature at Cargo Heater	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	PRD (Pressure Release Device)		Routine Check	
			2. Flow Rate is too high					
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			Situation not acceptable	Emergency Shutdown and Emergency Alarm
			4. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)				
			5. Butterfly valve 32V3000 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Pressure Indicator			
			6. Butterfly valve 32V3031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)				
			7. Butterfly valve 32V6031 blocked					

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 14 of 21	
DRAWING NO		: 1256404 NODE : 1					
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 3				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
2	More	More Pressure	12. Cargo Heater Failure				
3	More	More Temperature	1. Flow rate is too high	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to:	Temperature Indicator	Situation Not Acceptable	Consider Installation Gas Detector
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Butterfly valve 32V3000 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Butterfly valve 32V3031 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
			6. Butterfly valve 32V6031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				
			8. Butterfly valve 22V6002 blocked				

Lanjutan Tabel 4.17 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 15 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 3				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
4	Reverse	Reserve Flow	Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 or 32HV7022 blocked	Potential Reserve flow leading to equipment damage	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add non-return valve after all pump
5	NO	No Pressure	Pump cant work normally Booster pump failure	No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
6	Less	Less Flow	1. Leaks in pipe joint	Due to the reduced flow rate because most the gas release to the environment	Flow Meter	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 not fully open				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 not fully open	Pipe/equipment leak because less flow and lead to:			
			4. Butterfly valve 32V3000 not fully open	1. Jetfire (immediate ignition)			
				2. Flashfire (delayed			

Lanjutan Tabel 4.19 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1			SHEET = 17 of 21		
DRAWING NO		: 1256404			NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 4			P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG			DESIGN PRESS	ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG			DESIGN TEMP	Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP			OPERATING PRESS		
		DESTINATION : MANIFOLD 1			OPERATING TEMP		
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
1	NO	No Flow	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation not acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked				
			4. Butterfly valve 32V4000 blocked				
			5. Butterfly valve 32V4031 blocked				
			6. Butterfly valve 32V6031 blocked				
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				

Lanjutan Tabel 4.20 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 18 of 21						
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1						
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 4				P&ID						
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS	ACTIVITY							
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP	Transfer LPG from Ship to Ship							
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS								
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP								
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED					
			13. Compressor cant work normally									
2	More	More Pressure	1. Increase Temperature at Cargo Heater	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	PRD (Pressure Release Device)	Situation not acceptable	Routine Check					
			2. Flow Rate is too high									
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)				Emergency Shutdown and Emergency Alarm				
			4. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)								
			5. Butterfly valve 32V4000 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Pressure Indicator							
			6. Butterfly valve 32V4031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)								
			7. Butterfly valve 32V6031 blocked									
			8. Butterfly valve 32V6005 blocked									

Lanjutan Tabel 4.21 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 19 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 4				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
2	More	More Pressure	12. Cargo Heater Failure				
3	More	More Temperature	1. Flow rate is too high	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to:	Temperature Indicator	Situation Not Acceptable	Consider Installation Gas Detector
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 blocked				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Butterfly valve 32V4000 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Butterfly valve 32V4031 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
			6. Butterfly valve 32V6031 blocked	4. Gas Dispersion (no ignition)			
			7. Butterfly valve 32V6005 blocked				

Lanjutan Tabel 4.22 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 20 of 21	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 1	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 4				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : TANK LPG SHIP		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : MANIFOLD 1		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
4	Reverse	Reserve Flow	Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 or 32HV7022 blocked	Potential Reserve flow leading to equipment damage	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add non return valve after all pump
5	NO	No Pressure	Pump cant work normally	No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pump and Flowmeter
			Booster pump failure				
6	Less	Less Flow	1. Leaks in pipe joint	Due to the reduced flow rate because most the gas release to the environment	Flow Meter	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe
			2. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV6000 not fully open				
			3. Butterfly valve with double action hydraulic 32HV7022 not fully open	Pipe/equipment leak because less flow and lead to:			
			4. Butterfly valve 32V4000 not fully open	1. Jetfire (immediate ignition)			
			5. Butterfly valve 32V4031 not fully open	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			

Lanjutan Tabel 4.23 Node 1 System 1

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1			SHEET = 21 of 21		
DRAWING NO		: 1256404			NODE : 1		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 4			P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : TANK LPG SHIP DESTINATION : MANIFOLD 1			DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship		
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
			9. Butterfly valve 32V7026 not fully open 10. Swing Check Valve 32C6005 Failure		Safety Valve	Situation Acceptable	Routine Check Pump and Pipe
7	Other Than	Other Than Destination	line rupture, and LPG leakage before reach the cargo heater	Environmental contamination and lead to:	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Specify that proposed flow trip should have a sufficiently rapid response to prevent an explosion
				1. Jetfire (immediate ignition)			
				2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
				3. Explosion (delayed ignition and confinement)	Integrity of Piping		
				4. Gas Dispersion (no ignition)			

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET =		1 of 2
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 2		
PART CONSIDERED		: Fleksible Hose				P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY		
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship		
		SOURCE : MANIFOLD 1		OPERATING PRESS				
		DESTINATION : MANIFOLD 2		OPERATING TEMP				
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED	
1	Less	Less Flow	Leakage of pipeline on connection manifold and fleksible hose	1. No Supply LPG	Flow Meter	Situation acceptable	Routine Check Pipe and Flowmeter	
				2.Pipe/equipment leak and lead to:				
				Jetfire (immediate ignition)				
				Flashfire (delayed ignition and no confinement)				
				Explosion (delayed ignition and confinement)	Safety Valve			
				Gas Dispersion (no ignition)				
2	No	No Pressure	Leakage of pipeline on connection manifold and fleksible hose	1. No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not acceptable	Routine Check Pipe	
				2.Pipe/equipment leak and lead to:				
				Jetfire (immediate ignition)				

Lanjutan Tabel 4.25 Node 2 System 2

STUDY TITLE		: UNLOADING LPG PERTAMINA GAS 1				SHEET = 1 of 2	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 2	
PART CONSIDERED		: Fleksible Hose				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : MANIFOLD 1 DESTINATION : MANIFOLD 2				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP	
						ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
				Explosion (delayed ignition and confinement) Gas Dispersion (no ignition)	Safety Valve		Ensuring the Safety Valve function optimally
2	No	No Flow	Connections between Manifold and Flexible Hose disconnected	No Supply LPG	None Shown	Situation Not Acceptable	Considered to add Emergency Shutdown and Emergency Alarm before Fleksible Hose
3	Less	Less Pressure	Leak on fleksible hose	1. Unloading Time is Longer	Pressure Indicator	Situation acceptable	Routine Check Pipe
				2. Release LPG to Environment starts of fire			Ensuring the Safety Valve function optimally

Tabel 4.26 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 1 of 4		
DRAWING NO		: 2416				NODE : 3		
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1 Kapal Gas Arar				P&ID		
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : MANIFOLD 2 DESTINATION : Cargo Tank 1 Kapal Gas Arar				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship		
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED	
1	No	No Flow	1. Pump cant work normally	No Supply LPG to the Tank	Flow Meter	Situation not Acceptable	Considered to add Emergency Shutdown and Emergency Alarm after Fleksible Hose	
			2. Ball valve V0001 blocked					
			3. Ball valve V0002 blocked					
			4. Ball valve V0019 blocked		None Shown			
			6. LPG Heater Failure					
			7. Connections between Manifold and Flexible Hose disconnected					
2	Less	Less Flow	1. Leakage of pipeline on connection Fleksible Hose and Manifold 2	1. Unloading Time is Longer	None Shown	Situation Acceptable	Considered to add flow meter and safety valve	
			2. Ball valve V0001 not fully open	2.Pipe/equipment leak and lead to:				
			3. Ball valve V0002 not fully open	Jetfire (immediate ignition)				
			4. Ball valve V0019 not fully open	Flashfire (delayed ignition and no confinement)				
			5. Leaks in pipe joint	Explosion (delayed ignition and				
			6. Pump in not good condition					

Lanjutan Tabel 4.27 Node 3 System 3

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 2 of 4	
DRAWING NO		: 2416				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : MANIFOLD 2		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : Cargo Tank 1 Gas Arar		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
3	No	No Pressure	1. Pump cant work normally 2. Connection between Fleksible Hose and Manifold 2 Disconnected	1. No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pipe and Pressure Indicator
4	More	More Pressure	1. LPG flow in the pipeline partially obstructed	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add PRD (Pressure Release Device) and Pressure Indicator
			2. LPG Heater Failure				
			3. Ball valve V0001 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Ball valve V0002 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Ball valve V0019 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
				4. Gas Dispersion (no ignition)			

Lanjutan Tabel 4.28 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 3 of 4	
DRAWING NO		: 2416				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : MANIFOLD 2		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : Cargo Tank 1 Gas Arar		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
				4. Gas Dispersion (no ignition)			
6	More	More Temperature	1. LPG Heater Failure	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to:	Sensor Temperature	Situation not Acceptable	Routine Check Pipe and Temperature Indicator
			2. Ball valve V0001 blocked				
			3. Ball valve V0002 blocked				
			4. Ball valve V0019 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)	ESD valve		
			5. Overpressure on pipeline	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
				3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
	4. Gas Dispersion (no ignition)						
7	Other Than	Other Than Destination	line rupture, and LPG leakage before reach the cargo tank	Environmental contamination and lead to:	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Specify that proposed flow trip should have a sufficiently rapid response to prevent an
				1. Jetfire (immediate ignition)			
				2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			

Lanjutan Tabel 4.29 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 4 of 4	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 1 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : MANIFOLD 2		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : Cargo Tank 1 Gas Arar		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
8	Other Than	Other Than Corrosion	Inert Gas (N2 Generator) Failure	Corrosion leading to leakage of gas and	None Shown	Situation not Acceptable	Wall thickness of piping protection coating and inspection of the thickness of pressure vessel periodically
				1. Jetfire (immediate ignition)			
				2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
				3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
				4. Gas Dispersion (no ignition)			
9	Other Than	Other Than Maintenance		No additional significant is issues of cause identified			
10	Other Than	Other Than Operation		No additional significant is issues of cause identified			
11	Other Than	Other Than Instrumentation		No additional significant is issues of cause identified			

Lanjutan Tabel 4.30 Node 3 System 3

STUDY TITLE		= LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 1 of 4	
DRAWING NO		= 1256404				NODE : 3	
PART CONSIDERED		= Cargo Tank 2 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		= MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : MANIFOLD 2 DESTINATION : Cargo Tank 2 Gas Arar				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
1	No	No Flow	1. Pump cant work normally	No Supply LPG to the Tank	Flow Meter	Situation not Acceptable	Considered to add Emergency Shutdown and Emergency Alarm after Fleksible Hose
			2. Ball valve V0001 blocked				
			3. Ball valve V0002 blocked				
			4. Ball valve V0010 blocked				
			6. LPG Heater Failure				
			7. Connections between Manifold and Flexible Hose disconnected		None Shown		
2	Less	Less Flow	1. Leakage of pipeline on connection Fleksible Hose and Manifold 2	1. Unloading Time is Longer	None Shown	Situation Acceptable	Considered to add flow meter and safety valve
			2. Ball valve V0001 not fully open	2. Pipe/equipment leak and lead to:			
			3. Ball valve V0002 not fully open	Jetfire (immediate ignition)			
			4. Ball valve V0010 not fully open	Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Leaks in pipe joint	Explosion (delayed ignition and			
			6. Pump in not good condition				

Lanjutan Tabel 4.31 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 2 of 4	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG ACTIVITY : TRANSFER LPG SOURCE : MANIFOLD 2 DESTINATION : Cargo Tank 2 Gas Arar				DESIGN PRESS DESIGN TEMP OPERATING PRESS OPERATING TEMP	
						ACTIVITY Transfer LPG from Ship to Ship	
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
3	No	No Pressure	1. Pump cant work normally	1. No Supply LPG	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Routine Check Pipe and Pressure Indicator
			2. Connection between Fleksible Hose and Manifold 2 Disconnected				
4	More	More Pressure	1. LPG flow in the pipeline partially obstructed	Pipe/equipment leak because overpressure and lead to:	None Shown	Situation not Acceptable	Considered to add PRD (Pressure Release Device) and Pressure Indicator
			2. LPG Heater Failure				
			3. Ball valve V0001 blocked	1. Jetfire (immediate ignition)			
			4. Ball valve V0002 blocked	2. Flashfire (delayed ignition and no confinement)			
			5. Ball valve V0010 blocked	3. Explosion (delayed ignition and confinement)			
				4. Gas Dispersion (no ignition)			

Lanjutan Tabel 4.32 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 3 of 4	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : MANIFOLD 2		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : Cargo Tank 2 Gas Arar		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
				4. Gas Dispersion (no ignition)			
6	More	More Temperature	1. LPG Heater Failure	Pipe/equipment leak because more temperature and lead to: 1. Jetfire (immediate ignition) 2. Flashfire (delayed ignition and no confinement) 3. Explosion (delayed ignition and confinement) 4. Gas Dispersion (no ignition)	Sensor Temperature	Situation not Acceptable	Routine Check Pipe and Temperature Indicator
			2. Ball valve V0001 blocked 3. Ball valve V0002 blocked 4. Ball valve V0010 blocked 5. Overpressure on pipeline		ESD valve		

Lanjutan Tabel 4.33 Node 3 *System 3*

STUDY TITLE		: LOADING LPG to GAS ARAR				SHEET = 4 of 4	
DRAWING NO		: 1256404				NODE : 3	
PART CONSIDERED		: Cargo Tank 2 Kapal Gas Arar				P&ID	
DESIGN INTENT		: MATERIAL : LPG		DESIGN PRESS		ACTIVITY	
		ACTIVITY : TRANSFER LPG		DESIGN TEMP		Transfer LPG from Ship to Ship	
		SOURCE : MANIFOLD 2		OPERATING PRESS			
		DESTINATION : Cargo Tank 2 Gas Arar		OPERATING TEMP			
No	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENT	ACTION REQUIRED
8	Other Than	Other Than Corrosion	Inert Gas (N2 Generator) Failure	Corrosion leading to leakage of gas and 1. Jetfire (immediate ignition) 2. Flashfire (delayed ignition and no confinement) 3. Explosion (delayed ignition and confinement) 4. Gas Dispersion (no ignition)	None Shown	Situation not Acceptable	Wall thickness of piping protection coating and inspection of the thickness of pressure vessel periodically
9	Other Than	Other Than Maintenance		No additional significant is issues of cause identified			
10	Other Than	Other Than Operation		No additional significant is issues of cause identified			
11	Other Than	Other Than Instrumentation		No additional significant is issues of cause identified			

4.3.6 Skenario konsekuensi yang mungkin terjadi pada fasilitas

Tidak semua konsekuensi yang telah diidentifikasi pada HAZOP bisa terjadi pada fasilitas. Beberapa kondisi seperti terpendam/tidaknya pipa dan *confinement* menjadi faktor-faktor penentu konsekuensi yang terjadi. Konsekuensi yang dapat terjadi pada fasilitas akan dijelaskan dalam *compatibility matrix* pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.34 *Compatibility matrix* skenario yang terjadi pada fasilitas

Node	Konsekuensi			
	Jet fire	Flash fire	Explosion	Gas dispersion
1	YES	YES	NO	YES
2	YES	YES	NO	YES
3	YES	YES	NO	YES

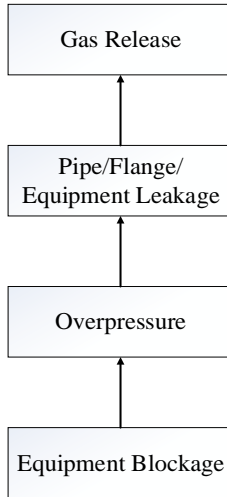
Tabel 4.6 menjelaskan bahwa *explosion* tidak dapat terjadi, karena kondisi pipa yang ada dalam fasilitas penerima yakni cargo tank kapal Gas Arar tidak dalam kondisi terpendam (*open atmosfer*), sehingga bentuk konsekuensi berupa *explosion* tidak dapat terjadi.

4.4 Analisa Frekuensi

Analisa Frekuensi dalam penelitian ini menggunakan 2 metode. Metode pertama adalah FTA (*Fault Tree Analysis*) dan yang kedua adalah ETA (*Event Tree Analysis*). Metode FTA dipergunakan untuk mencari *initiating event* pada setiap node berdasarkan nilai frekuensi kegagalan dari masing-masing komponen pada setiap node. Nilai frekuensi kegagalan tersebut didapatkan dari DNV *Failure frequency Guidance* dan OGP-Risk Asssesment Data Directory tentang *Storage Data Incident*. Sedangkan ETA dipergunakan untuk

mengetahui seberapa besar kemungkinan *initiating event* tersebut berkembang menjadi konsekuensi.

Untuk menentukan *initiating event* pada setiap node terlebih dahulu adalah membuat skenario tentang rilis gas ke atmosfer. Skenario yang di rencanakan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2 Skenario Kejadian

Pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa penyebab terjadinya *gas release* adalah karena *pipe/flange/equipment leakage*. Sedangkan hal tersebut terjadi karena *overpressure* akibat *equipment* yang tidak dapat terbuka saat LNG mengalir pada sistem.

Pada tabel 4.7-4.15 adalah nilai frekuensi masing-masing *equipment* pada setiap masing-masing skenario lubang kebocoran.

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	System 1	Butterfly Valve	10 inch	Butterfly Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	2.07E-03	5.68E-04	6.40E-04
	BV-1				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	BV-2							
	BV-3							
	BV-4		2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)					
	BV-5							
	BV-6							
	BV-7							
	SV-1	Swing Check Valve	8 inch	Swing Check Valve Blocked	3. Gas Dispersion (if no source of fire)			
	SV-5							
	RBV-1	Remotely Butterfly Valve	8 inch	Remotely Butterfly Valve Blocked				
	RBV-5		10 inch					
	RBV-6							
BP-1	Booster Pump	8 inch	Booster Pump Failed					
BP-2								
CH-1	Cargo Heater	10 inch	Cargo Heater Failed					

Tabel 4.8 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 2 pada setiap komponen

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	System 2	Butterfly Valve	10 inch	Butterfly Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	0.002069	5.68E-04	6.40E-04
	BV-8				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	BV-9		2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)					
	BV-4							
	BV-5							
	BV-6							
	BV-7							
	SV-2	Swing Check Valve	8 inch	Swing Check Valve Blocked	3. Gas Dispersion (if no source of fire)			
	SV-5							
	RBV-2	Remotely Butterfly Valve	8 inch	Remotely Butterfly Valve Blocked				
	RBV-5		10 inch					
	RBV-6							
	BP-1	Booster Pump	8 inch	Booster Pump Failed				
	BP-2							
	CH-1	Cargo Heater	10 inch	Cargo Heater Failed				

Tabel 4.9 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 3 pada setiap komponen

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	System 3	Butterfly Valve	10 inch	Butterfly Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	0.002069	5.68E-04	6.40E-04
	BV-10				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	BV-11		8 inch		2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)			
	BV-3							
	BV-4		10 inch					
	BV-5		14 inch					
	BV-6	Swing Check Valve	8 inch	Swing Check Valve Blocked	3. Gas Dispersion (if no source of fire)			
	BV-7							
	SV-3	Remotely Butterfly Valve	8 inch	Remotely Butterfly Valve Blocked				
	SV-5							
	RBV-3	Booster Pump	8 inch	Booster Pump Failed				
	RBV-5							
	RBV-6	Cargo Heater	10 inch	Cargo Heater Failed				
	BP-1							
	BP-2							
	CH-1							

Tabel 4.10 Frekuensi kegagalan node 1 sistem 4 pada setiap komponen

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	System 4	Butterfly Valve	10 inch	Butterfly Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	0.002069	5.68E-04	6.40E-04
	BV-12				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	BV-13		8 inch		2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)			
	BV-3							
	BV-4		10 inch					
	BV-5		14 inch					
	BV-6	Swing Check Valve	8 inch	Swing Check Valve Blocked	3. Gas Dispersion (if no source of fire)			
	BV-7							
	SV-4	Remotely Butterfly Valve	8 inch	Remotely Butterfly Valve Blocked				
	SV-5		10 inch					
	RBV-4	Booster Pump	8 inch	Booster Pump Failed				
	RBV-5							
	RBV-6	Cargo Heater	10 inch	Cargo Heater Failed				
	BP-1							
	BP-2							
	CH-1							

Tabel 4.11 Frekuensi kegagalan node 1 pada semua sistem

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1		Butterfly Valve	10 inch	Butterfly Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	8.28E-03	2.27E-03	4.00E-06
	BV-1				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	BV-2							
	BV-3		8 inch					
	BV-4							
	BV-5		10 inch					
	BV-6							
	BV-7		14 inch					
	BV-8							
	BV-9		10 inch					
	BV-10							
	BV-11							
	BV-12							
	BV-13							
	SV-1	Swing Check Valve	8 inch	Swing Check Valve Blocked				
	SV-2							
	SV-3							
	SV-4							
	SV-5							

Tabel 4.12 Frekuensi kegagalan node 2 pada semua equipment

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	GV1	Globe Valve	1 inch	Globe Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	4.40E-04	8.97E-05	7.40E-05
	FH1	Flexible Hose	12 inch	Flexible Hose Disconnected	1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	F/S1	Filter/Strainer	14 inch	Filter/Stainer Blocked	2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)			
					3. Gas Dispersion (if no source of fire)			

Tabel 4.13 Frekuensi kegagalan node 3 sistem 1

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY					
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm			
1	BV1	Ball Valve	4 inch	Ball Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	2.88E-03	1.21E-03	4.30E-05			
	BV2				1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)						
	BV3										
	BV4										
	F/S1	Filter/Strainer	1 inch	Filter/Stainer Blocked	2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)						
	CP 1	Cargo Pump	8 inch	Cargo Pump Failed							
	CH	LPG Heater	2 inch	Heater Failed	3. Gas Dispersion (if no source of fire)						

Tabel 4.35 Frekuensi kegagalan node 3 sistem 2

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	BV1	Ball Valve	4 inch	Ball Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	3.41E-03	1.21E-03	4.30E-05
	BV2							
	BV5							
	BV6							
	F/S1	Filter/Strainer	1 inch	Filter/Stainer Blocked	1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	F/S2							
	CP 2	Cargo Pump	8 inch	Cargo Pump Failed	2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)			
	CH	LPG Heater	2 inch	Heater Failed				
					3. Gas Dispersion (if no source of fire)			

Tabel 4.15 Frekuensi kegagalan node 3 pada semua system

NO	SOURCE	EQUIPMENT	SIZE	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	FREQUENCY		
						< 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	BV1	Ball Valve	4 inch	Ball Valve Blocked	Pipe Rupture and gas release because over pressure and over temperature. Lead to :	6.29E-03	2.42E-03	8.60E-05
	BV2							
	BV3							
	BV4							
	BV5							
	BV6							
	F/S1	Filter/Strainer	1 inch	Filter/Stainer Blocked	1. Jet Fire (if any source of fire and immediate ignition)			
	F/S2							
	CP 1	Cargo Pump	8 inch	Cargo Pump Failed	2. Flash Fire (if any source of fire and delayed ignition)			
	CP 2							
	CH	LPG Heater	2 inch	Heater Failed	3. Gas Dispersion (if no source of fire)			

4.4.1 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis dalam penelitian ini digunakan sebagai perhitungan gagalnya suatu sistem dengan *top event* sesuai skenario yang telah dibuat yaitu *gas release*. Perhitungan frekuensi terjadinya *gas release* pada penelitian ini dilakukan pada semua node.

Proses FTA pada penelitian ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak Relex 2009. Yaitu perangkat lunak yang memudahkan perhitungan dengan menggunakan gerbang logika “and” atau “or” ketika terdapat banyak *basic event* yang saling berhubungan.

Analisa FTA sangat erat kaitannya dengan penggunaan gerbang logika “and” atau “or”. Berikut adalah penjelasan mengenai hal tersebut.

- Logika “and”, dipergunakan untuk komponen-komponen yang bekerja seolah sistem tersebut dirangkai secara paralel. Sistem akan gagal apabila semua komponen gagal.

Dan dirumuskan sebagai berikut :

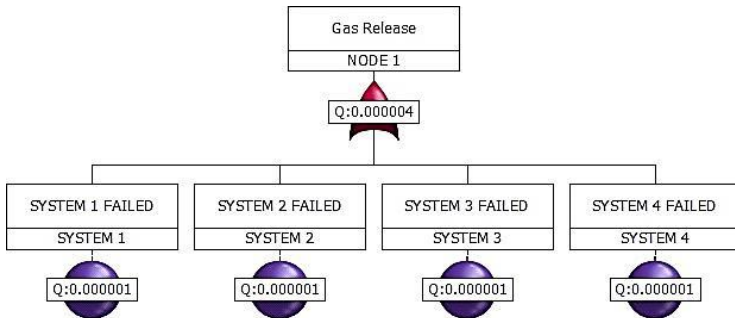
$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

- Logika “or”, dipergunakan untuk komponen-komponen yang bekerja seolah sistem tersebut dirangkai secara seri. Sistem akan gagal apabila salah satu komponen saja gagal.

Dan dirumuskan sebagai berikut :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Berikut adalah proses pengerjaan FTA dengan menggunakan perangkat lunak Relex 2009



Gambar 4.3 *Fault Tree Analysis* pada node 1 (hole >150mm) dengan menggunakan Relx 2009

Berikut adalah perhitungan secara manual FTA diatas :

$$P(N1) = P(S1) + P(S2) + P(S3) + P(S4) - P(S1 \cap S2 \cap S3 \cap S4)$$

Dari seluruh perhitungan FTA pada masing-masing skenario di setiap node, maka diperoleh hasil seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.16 Rekapitulasi Frekuensi *Gas release* pada setiap node

Node	Scenario	Location	Leak Frequence		
			Small	Medium	Full
			(10-50mm)	(50-150mm)	(>150mm)
1	Gas Release	Cargo Tank to Manifold	8.26E-03	2.29E-03	2.56E-03
2	Gas Release	Manifold 1 to Manifold 2	4.40E-04	8.97E-05	7.40E-05
3	Gas Release	Manifold 2 to Cargo Tank	6.29E-03	2.42E-03	8.60E-05

4.4.2 Event Tree Analysis (ETA)

Event Tree Analysis (ETA) digunakan untuk menghitung nilai frekuensi untuk setiap konsekuensi yang mungkin muncul dalam fasilitas LPG ini (*jet fire, flash fire, gas dispersion*). Nilai inputan atau *initiating event* dari ETA ini adalah frekuensi *gas release* yang diperoleh dari FTA.

Setelah itu diperlukan inputan nilai ignition probability dan probability ignition untuk immediate dan delayed. Ketiga probability tersebut didapatkan dari OGP (*International association of Oil and Gas Producers*). *Ignition probability* di dalam OGP sangat bergantung pada tipe fasilitas dan juga jumlah gas yang terilis per satuan waktu. Berikut adalah penentuan jumlah gas yang terilis dalam satuan waktu dan tipe fasilitas.

4.4.2.1 Perhitungan *Flow Release Gas*

Berdasarkan DNV *failure frequency*, untuk menghitung *flow release gas* yang terjadi pada sebuah segmen pipa dapat menggunakan persamaan Bernouli. Berikut adalah formula yang diberikan oleh DNV untuk jenis *pressurized gas*.

$$Qg = Cd \cdot A \cdot Po \sqrt{\frac{M\gamma}{RT_o}} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \quad (4.1)$$

Dimana :

Qg : initial *gas release rate* (kg/s)

Cd : discharge coefficient

A : hole area (m²)

Po : initial pressure of gas absolute (N/m²)

M : molecular weight of gas

γ : ratio specific heats

R : universal gas constant (8314 J/kg mol K)

To : initial temperature of gas (K)

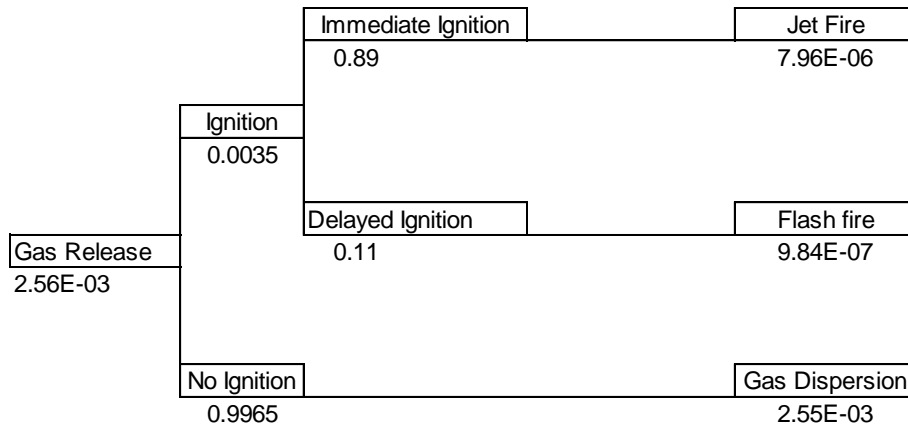
Dari setiap hasil yang didapatkan dari formula diatas, dipergunakan sebagai acuan menentukan *ignition probability* pada setiap skenario. Berikut adalah hasil ETA dengan formula yang telah dijabarkan diatas.

Node 1 (Full)

flow release 2.169 kg/s

Ignition prob. OGP

type plant Large



Gambar 4.4 *Event Tree Analysis* pada node 1 (*fullbore* > 150 mm)

Tabel 4.17 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa *jet fire*, *flash fire*, dan *gas dispersion* pada node 1

Node 1	Potential Hazard	Frequency		
		Small (10-50mm)	Medium (50-150mm)	Full (>150mm)
	Jet Fire	7.35E-06	5.29E-06	7.96E-06
	Flash Fire	9.08E-07	6.54E-07	9.84E-07
	Gas Dispersion	8.25E-03	2.28E-03	2.55E-03

Tabel 4.18 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa *jet fire*, *flash fire*, dan *gas dispersion* pada node 2

Node 2	Potential Hazard	Frequency		
		Small (10-50mm)	Medium (50-150mm)	Full (>150mm)
	Jet Fire	5.09E-07	7.19E-07	8.63E-07
	Flash Fire	6.29E-08	8.88E-08	1.07E-07
	Gas Dispersion	4.39E-04	8.89E-05	7.30E-05

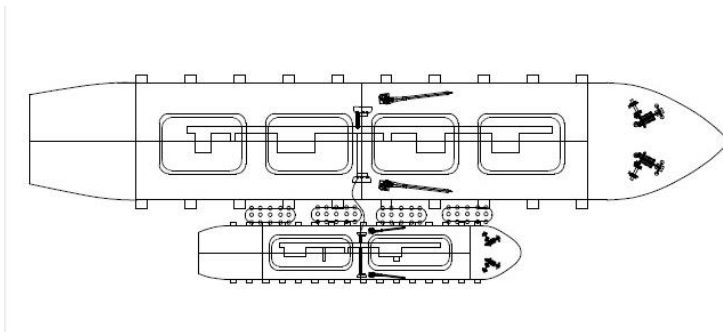
Tabel 4.19 Rekapitulasi frekuensi bahaya berupa *jet fire*, *flash fire*, dan *gas dispersion* pada node 3

Node 3	Potential Hazard	Frequency		
		Small (10-50mm)	Medium (50-150mm)	Full (>150mm)
	Jet Fire	2.89E-06	1.94E-05	1.00E-06
	Flash Fire	3.57E-07	2.40E-06	1.24E-07
	Gas Dispersion	9.24E-04	2.40E-03	8.49E-05

4.5 Analisa Konsekuensi

Setelah mendapatkan nilai frekuensi masing-masing skenario kejadian, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa konsekuensi berupa *fire modelling*. Analisa ini menggunakan bantuan perangkat lunak ALOHA.

Tahap pertama sebelum melakukan *fire modelling* adalah mengetahui skenario-skenario yang mungkin terjadi. Dari segala kondisi yang mungkin di dalam fasilitas, semua skenario kejadian sangat mungkin terjadi. Untuk itu semua bentuk skenario akan di simulasikan. Tahap kedua adalah menentukan letak-letak keberadaan orang di dalam maupun di sekitar lokasi ship to ship kapal LPG ini, yang selanjutnya disebut sebagai *receiver*. Berikut adalah persebaran *receiver* pada proses Ship to Ship Transfer ini.



Gambar 4.5 Persebaran *Receiver* pada terminal penerima CNG

4.5.1 Penentuan letak *receiver*

Dalam fasilitas ini terbagi dalam 20 *receiver*. Informasi mengenai jumlah orang dalam fasilitas ini mengacu pada Husky Oil-White Rose DA Volume 2 (Development plan) January 2001 mengenai jumlah pekerja dalam suatu fasilitas oil and gas dan juga *interview* langsung dengan Kapten kapal Pertamina Gas 1. Berikut adalah data mengenai *receiver* yang ada pada proses Ship to Ship Transfer tersebut.

Tabel 4.20 Data *receiver* pada proses Ship to Ship Transfer

<i>Receiver</i>	Lokasi	Jumlah orang
1	Crew Ship Pertamina Gas 1	3
2	Operator Ship Pertamina Gas 1	7
3	Crew Ship Gas Arar	3
4	Operator Ship Gas Arar	7

4.5.2 *Fire modelling* dengan perangkat lunak ALOHA

5.4.4

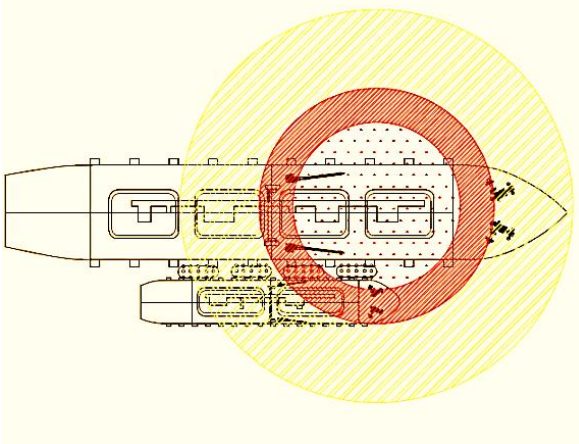
ALOHA merupakan software yang dapat mensimulasikan bagaimana persebaran panas, kadar gas, maupun *overpressure* yang terjadi ketika skenario bahaya berlangsung. Simulasi dilakukan pada ketiga skenario bahaya dan kelima skenario kebocoran. Sehingga dari masing masing skenario lubang kebocoran dapat diketahui seberapa banyak *receiver* yang terdampak yang kemudian menjadi hasil dari analisa konsekuensi (Seattle, 2013).

Inputan ALOHA secara garis besar adalah kondisi atmosfer, kondisi landscape fasilitas, jenis gas, sumber, dan ukuran kebocoran . Dalam analisa konsekuensi ini 2 node yaitu *Node 1&Node 2* dilakukan penggabungan karena crew pada kedua node ini sama dan jaraknya berdekatan sehingga dimungkinkan untuk melakukan satu kali analisa, sedangkan pada Node 3 dilakukan analisa tersendiri.

4.5.2.1 Analisa konsekuensi akibat *jet fire*

Fire modelling pada skenario *jet fire* dilakukan dengan variasi 3 skenario kebocoran, antara lain *full bore* (>150 mm), *Medium bore* (50-150 mm), *Small bore* (10-50 mm). Penentuan variasi lubang kebocoran berdasarkan DNV *failure frequency* sehingga nantinya akan diketahui radiasi panas yang dihasilkan dan seberapa besar dampak yang

diterima oleh *receiver*. Berikut adalah salah satu hasil dari *fire modelling jet fire* dengan kebocoran *full bore* pada *jetty*.



Gambar 4.6 *Fire modelling jet fire* pada *Node 1* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Dari *fire modelling jet fire* pada *jetty* menunjukkan beberapa hasil yakni, *jet fire* hanya berlangsung selama 20 detik. Hal ini diperoleh dari volume gas yang ada di dalam pipa yang akan habis dalam 20 detik pada saat *jet fire* berlangsung. Mekanisme *closed off pipe* membuat hal ini sangat penting mengingat harus ada prosedur yang membatasi volume gas yang terbakar menjadi seminimal mungkin. Didalam ALOHA hal ini di representasikan dengan panjang pipa. Semakin pendek pipa dengan diameter yang sama maka volume yang ada dan yang terbakar akan menjadi lebih sedikit sehingga waktu *jet fire* berlangsung akan relatif lebih singkat. Hal ini sangat erat hubungannya dengan kondisi *receiver* disekitar lokasi kejadian yang direpresentasikan dalam radiasi panas.

Berikut adalah LOC (*Level of Concern*) dari radiasi panas. Radiasi panas yang terjadi dibagi menjadi 3, yaitu

kuning dengan radiasi panas sekitar $2\text{-}5 \text{ kW/m}^2$ dengan radius jangkauan 43 meter yang berpotensi menimbulkan *first degree burn* pada orang terdampak dalam waktu 60 detik. Oranye dengan radiasi panas $5\text{-}10 \text{ kW/m}^2$ dan radius jangkauan 28 meter yang berpotensi menimbulkan *second degree burn* pada orang terdampak dalam waktu 60 detik. Merah dengan radiasi panas $>10 \text{ kW/m}^2$ dan radius jangkauan 20 meter yang berpotensi menimbulkan *third degree burn* atau bahkan kematian dalam waktu 60 detik.

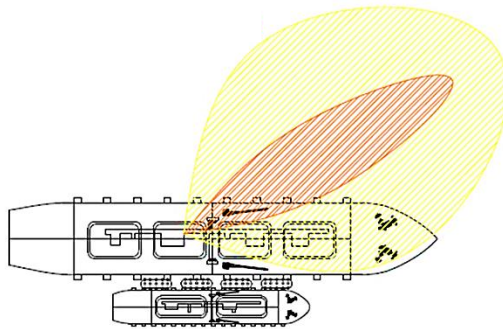
Selanjutnya *fire modelling* ini dilakukan pada dua titik yaitu Tangki menuju manifold 1 (node 1&2), dan manifold 2 menuju tangki (node 3). Berikut adalah tabel rekapitulasi *jet fire* dengan kebocoran $>150 \text{ mm}$ pada setiap lokasi. Sedangkan hasil untuk skenario lubang kebocoran yang lain dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.21 Rekapitulasi *fire modelling jet fire* pada semua node dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Jet fire skenario hole >150 mm (full)								
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m2	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3		3 / 89 m /60 s		-		3
	TOTAL							3
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	3 / 14 m / 60 s	-	-	-		3
TOTAL								3

4.5.2.2 Analisa konsekuensi akibat *flash fire*

Sama halnya seperti *jet fire*, *fire modelling* akibat *flash fire* dilakukan pada 3 skenario kebocoran sesuai DNV *failure frequency*. Berbeda dari *jet fire*, *fire modelling flash fire* akan menunjukkan seberapa besar *overpressure* yang terjadi saat *flash fire* berlangsung dan berapa *receiver* yang terdampak. Berikut adalah contoh *fire modelling flash fire* dengan kebocoran *full bore* pada node 1.



Gambar 4.7 *Fire modelling flash fire* pada node 1 dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Dari *fire modelling jet fire* pada *jetty* menunjukkan beberapa hasil yakni, durasi rilisnya gas ke atmosfer adalah 1 menit. Dengan mekanisme closed off maka gas yang terilis ke atmosfer dapat di batasi sejauh mungkin.

Berikut adalah *Level of Concern* (LOC) dari *flash fire*, warna merah merepresentasikan *overpressure blast force* sebesar >8 psi yang berpotensi menghancurkan bangunan, namun dalam kasus *ship to ship transfer* ini ledakan tidak mencapai level tersebut. Warna oranye merepresentasikan *overpressure blast force* sebesar 3,5 - 8 psi yang berpotensi menyebabkan luka serius. Hal tersebut dapat terjadi karena

skenario *flash fire* yang dipicu oleh detonasi dan sulutan api. Warna kuning dalam *fire modelling* tersebut merepresentasikan *overpressure blast force* sebesar 1 - 3,5 psi dengan jangkauan 50 meter yang berpotensi menyebabkan kaca pecah.

Setelah itu *fire modelling* ini dilakukan pada dua titik titik yaitu Tangki menuju manifold 1(node 1&2), dan manifold 2 menuju tangki (node 3). Berikut adalah tabel rekapitulasi *flash fire* dengan kebocoran >150 mm pada setiap lokasi. Sedangkan hasil untuk skenario lubang kebocoran yang lain dapat dilihat pada lampiran.

Flash Fire skenario hole >150 mm (full)								
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	-
	Crew Ship	3		-		3 /~ /~	<1.0	-
	TOTAL							0
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	-	3 / 99 m / 60 s	-	-		3
		TOTAL						

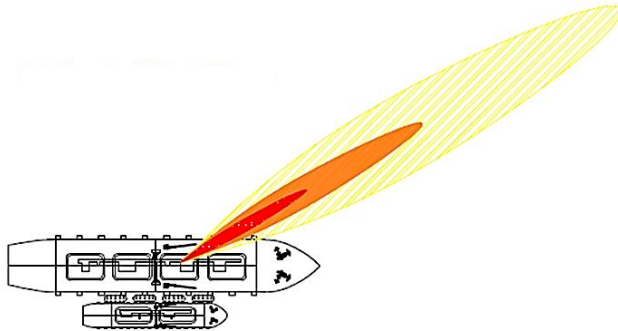
4..2.3 Analisa konsekuensi akibat *gas dispersion*

Gas dispersion dalam fasilitas LPG sangat mungkin terbentuk karena sebagian gas dalam fasilitas dalam kondisi fase gas. *Gas dispersion* sangat berbahaya bagi manusia umumnya pada pernapasan. Tingkat dampak dari *gas dispersion* sendiri bergantung pada kadar ppm pada gas yang terilis. Semakin besar kadar ppm gas methane tersebut maka potensi kematian juga akan semakin besar. Tabel dibawah ini adalah penjelasan mengenai kadar ppm dalam *gas propane* sekaligus dampaknya.

Tabel 4.23 Kadar ppm dalam *Gas propane* dan efeknya

Kadar %	ppm	Efek Terhadap Manusia
<5	50.000	Tidak beracun
14	140.000	Gas propane memiliki kemampuan mengurangi kadar oksigen di atmosfer
30	300.000	Depresi sistem saraf pusat

Sama halnya dengan sebelumnya, *fire modelling gas dispersion* ini dilakukan pada 3 skenario kebocoran yang sudah ditentukan. Berikut adalah hasil *fire modelling gas dispersion* pada *jetty* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm).



Gambar 4.8 *Fire modelling gas dispersion* pada Node 1 dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Dari *fire modelling gas dispersion* pada *jetty* menunjukkan beberapa hasil yakni, *gas dispersion* akan berlangsung hanya 1 menit hingga gas yang ada dalam pipa habis. Mekanisme yang digunakan sama dengan skenario bahaya sebelumnya, yaitu *closed off pipe*.

Berikut adalah *Level of Concern* (LOC) dari kadar ppm *gas dispersion*. Warna kuning menunjukkan *gas propane* dengan kadar 5500-17000 ppm dan jarak jangkauan sejauh 142 meter. Warna oranye menunjukkan *gas propane* dengan kadar 17000-33000 ppm dan jarak jangkauan sejauh 57 meter. Warna merah menunjukkan *gas propane* dengan kadar >33000 ppm dan jarak jangkauannya sejauh 35 meter

Selanjutnya *fire modelling* ini dilakukan pada dua titik yaitu Tangki menuju manifold 1(node 1&2), dan manifold 2 menuju tangki (node 3). Berikut adalah tabel rekapitulasi *gas dispersion* dengan kebocoran >150 mm pada setiap lokasi. Sedangkan hasil untuk skenario lubang kebocoran yang lain dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.24 Rekapitulasi *gas dispersion* pada semua node dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Gas Dispersion skenario hole >150 mm (Full)								
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				PPM	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0
	Kapal Gas Arar							
Node 3	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	0
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	0
	TOTAL							0

4.6 Representasi Risiko

Risiko pada umumnya dikatakan sebagai perkalian penggabungan antara frekuensi dan konsekuensi. Setelah nilai frekuensi dan konsekuensi didapatkan maka kemudian nilai tersebut diplotkan pada sebuah *F-N curve*. *F-N Curve* yang digunakan pada skripsi kali ini adalah sesuai standar *UK Health and Safety Executive (UK HSE)*. Risiko akan bisa diterima apabila ada dalam daerah *acceptable* atau sekurang-kurangnya *ALARP*. Namun apabila hanya menggunakan *F-N curve* dalam merepresentasikan risiko terlihat tidak cukup detail untuk seberapa besar risiko yang dihasilkan dari perkalian antara frekuensi dan konsekuensi, sehingga representasi risiko dapat dilengkapi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab pada fungsi Fuzzy.

Dalam representasi risiko, node atau lokasi analisa akan disesuaikan menjadi 3 seperti analisa frekuensi, karena node 1&2 memiliki nilai frekuensi yang berbeda. namun untuk kedua node tersebut nilai konsekuensinya sama karena alasan yang telah dijelaskan sebelumnya.

4.6.1 Representasi Risiko *jet fire*

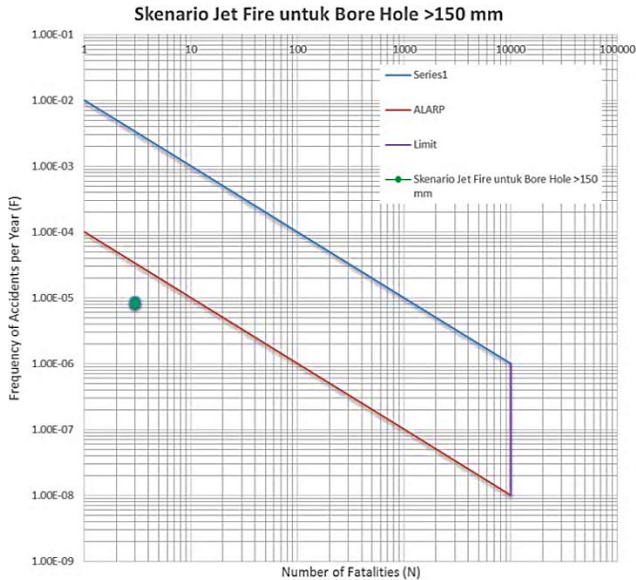
Berikut adalah rekapitulasi frekuensi, frekuensi kumulatif dan konsekuensi skenario *jet fire* untuk masing-masing lokasi analisa.

Tabel 4.25 Rekapitulasi *jet fire* untuk skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Skenario Jet Fire untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	3	7.96E-06	7.96E-06
2	Fleksible Hose	3	8.63E-07	8.82E-06
3	Gas Arar	3	1.00E-06	9.83E-06

Dari tabel tersebut nilai *fatalities* sebagai hasil analisa konsekuensi dan frekuensi kumulatif dipergunakan sebagai

masukkan pada F-N *curve*. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.9 F-N *curve* untuk *jet fire* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Selanjutnya hasil dari F-N *curve* untuk scenario kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran D. Dan dibawah ini adalah rekapitulasi risiko *jet fire* pada seluruh node dan skenario.

Tabel 4.26 Rekapitulasi tingkat risiko *jet fire* untuk seluruh skenario kebocoran

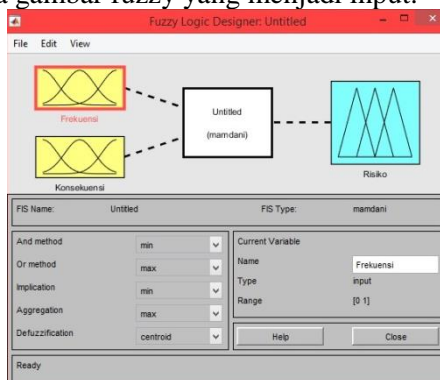
JET FIRE			
RISK LEVEL	TOTAL		
	NODE 1	NODE 2	NODE 3
ACCEPTABLE	3	3	3
ALARP	0	0	0
UNACCEPTABLE	0	0	0

Terlihat dari tabel 4.26, tingkat risiko *jet fire* pada setiap node berada pada level yang dapat diterima sehingga harus tidak perlu dilakukan mitigasi.

4.6.2 Representasi Risiko *Jet fire* dengan menggunakan *Fuzzy Inference System*

Setelah nilai frekuensi dan konsekuensi diperoleh, maka tingkat risiko dapat direpresentasikan dengan bantuan perangkat lunak Matlab dengan fungsi fuzzy, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penentuan risiko yang ada.

1. Menentukan Input yang digunakan dalam perangkat lunak Matlab tersebut, untuk permasalahan ini menggunakan 2 input yaitu nilai frekuensi dan konsekuensi untuk dapat diproses dengan menggunakan fungsi fuzzy dengan metode Mamdani yang menghasilkan output risiko. Berikut adalah skema gambar fuzzy yang menjadi input.



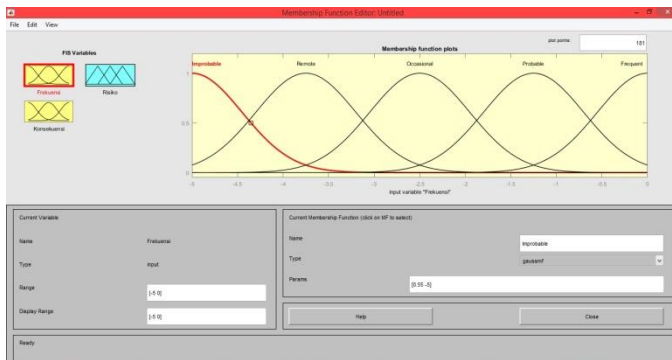
Gambar 4.10 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.

2. Memasukkan nilai-nilai dari probability, consequence dan risk yang telah ditentukan berdasarkan standar MIL-STD-882D. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai range untuk dapat di-input kedalam fungsi fuzzy. Nilai-nilai yang digunakan sebagai batasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.27 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Level	Specific Individual Item	Fleet or Inventory
Frequent	A	Likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than 10^{-1} in that life.	Continuously experienced
Probable	B	Will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-1} but greater than 10^{-2} in that life.	Will occur frequently
Occasional	C	Likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-2} but greater than 10^{-3} in that life.	Will occur several times.
Remote	D	Unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-3} but greater than 10^{-6} in that life.	Unlikely, but can reasonably be expected to occur.
Improbable	E	So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than 10^{-6} in that life.	Unlikely to occur, but possible.

Sumber: MIL-STD-882D



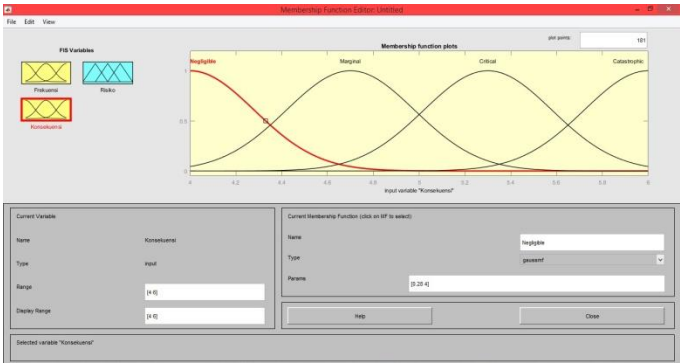
Gambar 4.11 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk frekuensi terbagi menjadi 5 bagian berdasarkan angka frekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi fokus utama dalam mengetahui angka frekuensi setiap skenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

Tabel 4.28 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Category	Environmental, Safety, and Health Result Criteria
Catastrophic	I	Could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.
Critical	II	Could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, loss exceeding \$200K but less than \$1M, or reversible environmental damage causing a violation of law or regulation.
Marginal	III	Could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days (s), loss exceeding \$10K but less than \$200K, or mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished.
Negligible	IV	Could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation.

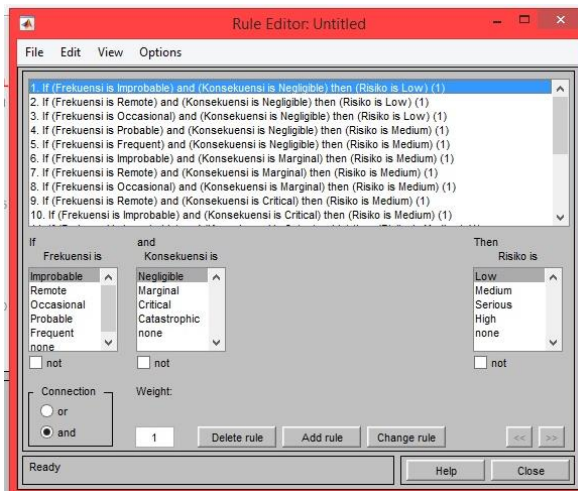
Sumber: MIL-STD-882D



Gambar 4.12 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D

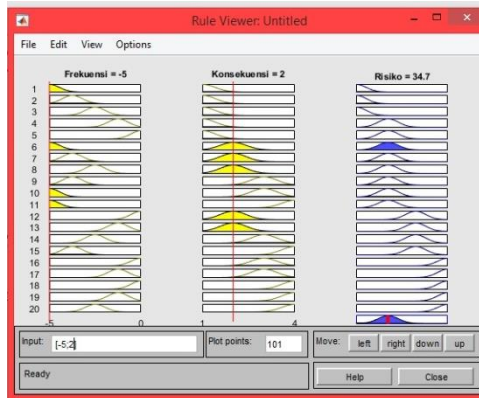
Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk konsekuensi terbagi menjadi 4 bagian berdasarkan angka konsekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi focus utama dalam mengetahui angka konsekuensi setiap scenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

3. Memasukkan rules dari 5 probability, 4 consequence dan 4 risk. Satu rules berisi 1 probability, 1 consequence dan 1 risk. Jadi dalam model ini ada $5 \times 4 \times 4 = 80$ rules.

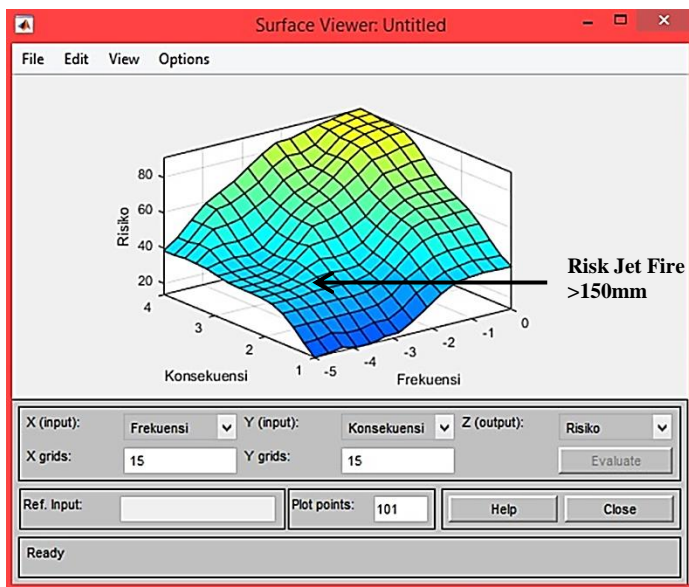


Gambar 4.13 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.

4. Setelah memasukkan 80 rules maka matlab secara otomatis akan melakukan pemetaan dari data-data yang sudah di input. Berikut adalah pemetaan berdasarkan fungsi fuzzy pada matlab.



Gambar 4.14 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Jetfire dengan kebocoran fullbore >150mm .



Gambar 4.15 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab

Setelah pemetaan dapat dilakukan maka didapatkan tingkat risiko pada masing-masing node dengan melihat grafik risk matriks pada matlab tersebut. Terlihat pada scenario Jet Fire dengan kebocoran Fullbore >150 mm tingkat risiko berada pada angka 34.7 dengan kategori Medium Risk direpresentasikan pada risk matrix fuzzy dengan warna biru muda. Sehingga tidak diperlukan mitigasi.

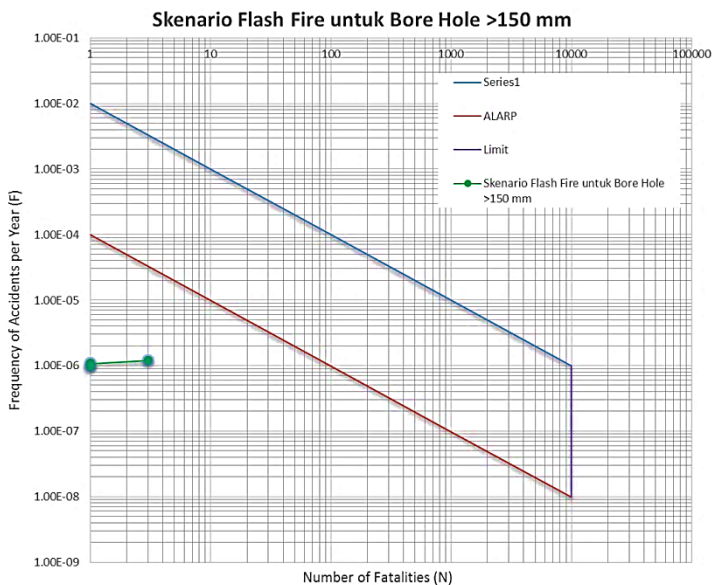
4.6.3 Representasi Risiko *flash fire*

Berikut adalah rekapitulasi frekuensi, frekuensi kumulatif dan konsekuensi skenario *flash fire* untuk masing-masing lokasi analisa.

Tabel 4.29 Rekapitulasi *flash fire* untuk skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Skenario Flash Fire untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	9.84E-07	9.84E-07
2	Fleksible Hose	1	1.07E-07	1.09E-06
3	Gas Arar	3	1.24E-07	1.21E-06

Sama halnya dengan skenario *jet fire*, dari tabel tersebut nilai fatalities sebagai hasil analisa konsekuensi dan frekuensi kumulatif dipergunakan sebagai masukan pada F-N *curve*. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.16 F-N curve untuk *flash fire* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Selanjutnya hasil dari F-N curve untuk skenario kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran D. Dan dibawah ini adalah rekapitulasi risiko *flash fire* pada seluruh node dan skenario.

Tabel 4.30 Rekapitulasi tingkat risiko flash fire untuk seluruh skenario kebocoran

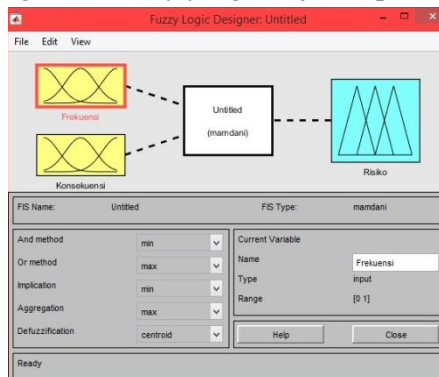
FLASH FIRE			
RISK LEVEL	TOTAL		
	NODE 1	NODE 2	NODE 3
ACCEPTABLE	3	3	3
ALARP	0	0	0
UNACCEPTABLE	0	0	0

Terlihat dari tabel 4.30, sama halnya dengan *jet fire*, tingkat risiko *flash fire* di semua node dan pada semua skenario berada pada level yang dapat diterima sehingga tidak perlu dilakukan mitigasi.

4.6.4 Representasi Risiko Flash Fire dengan menggunakan Fuzzy Inference System

Setelah nilai frekuensi dan konsekuensi diperoleh, maka tingkat risiko dapat direpresentasikan dengan bantuan perangkat lunak Matlab dengan fungsi fuzzy, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penentuan risiko yang ada.

1. Menentukan Input yang digunakan dalam perangkat lunak Matlab tersebut, untuk permasalahan ini menggunakan 2 input yaitu nilai frekuensi dan konsekuensi untuk dapat diproses dengan menggunakan fungsi fuzzy dengan metode Mamdani yang menghasilkan output risiko. Berikut adalah skema gambar fuzzy yang menjadi input.



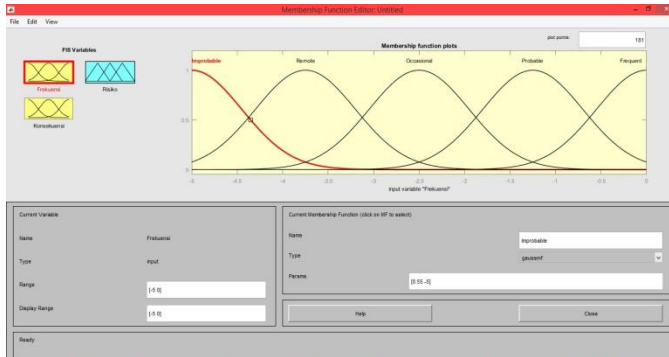
Gambar 4.17 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.

2. Memasukkan nilai-nilai dari probability, consequence dan risk yang telah ditentukan berdasarkan standar MIL-STD-882D. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai range untuk dapat di-input kedalam fungsi fuzzy. Nilai-nilai yang digunakan sebagai batasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.31 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Level	Specific Individual Item	Fleet or Inventory
Frequent	A	Likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than 10^{-1} in that life.	Continuously experienced
Probable	B	Will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-1} but greater than 10^{-2} in that life.	Will occur frequently
Occasional	C	Likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-2} but greater than 10^{-3} in that life.	Will occur several times.
Remote	D	Unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-3} but greater than 10^{-6} in that life.	Unlikely, but can reasonably be expected to occur.
Improbable	E	So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than 10^{-6} in that life.	Unlikely to occur, but possible.

Sumber: MIL-STD-882D



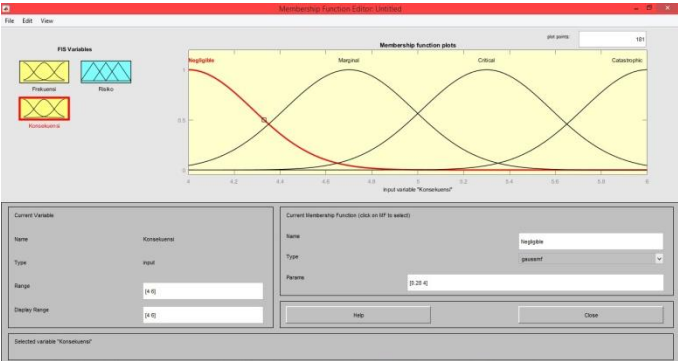
Gambar 4.18 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk frekuensi terbagi menjadi 5 bagian berdasarkan angka frekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi focus utama dalam mengetahui angka frekuensi setiap scenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

Tabel 4.32 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Category	Environmental, Safety, and Health Result Criteria
Catastrophic	I	Could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.
Critical	II	Could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, loss exceeding \$200K but less than \$1M, or reversible environmental damage causing a violation of law or regulation.
Marginal	III	Could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days (s), loss exceeding \$10K but less than \$200K, or mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished.
Negligible	IV	Could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation.

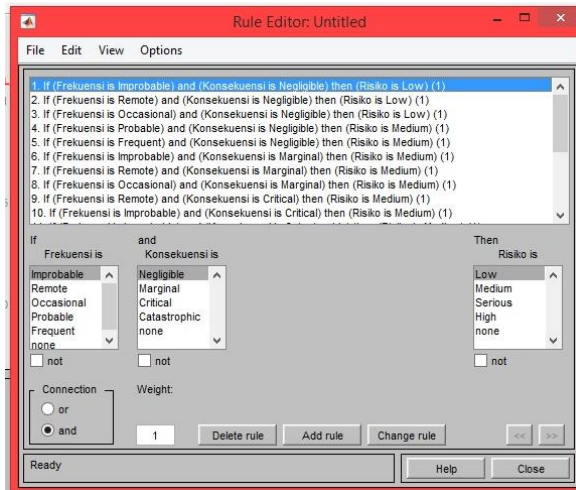
Sumber: MIL-STD-882D



Gambar 4.19 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D

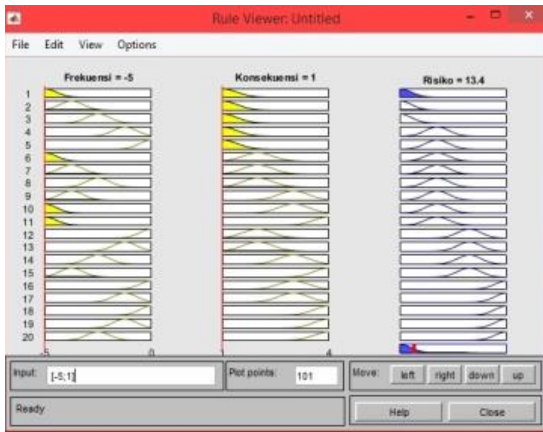
Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk konsekuensi terbagi menjadi 4 bagian berdasarkan angka konsekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi focus utama dalam mengetahui angka konsekuensi setiap scenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

3. Memasukkan rules dari 5 probability, 4 consequence dan 4 risk. Satu rules berisi 1 probability, 1 consequence dan 1 risk. Jadi dalam model ini ada $5 \times 4 \times 4 = 80$ rules.

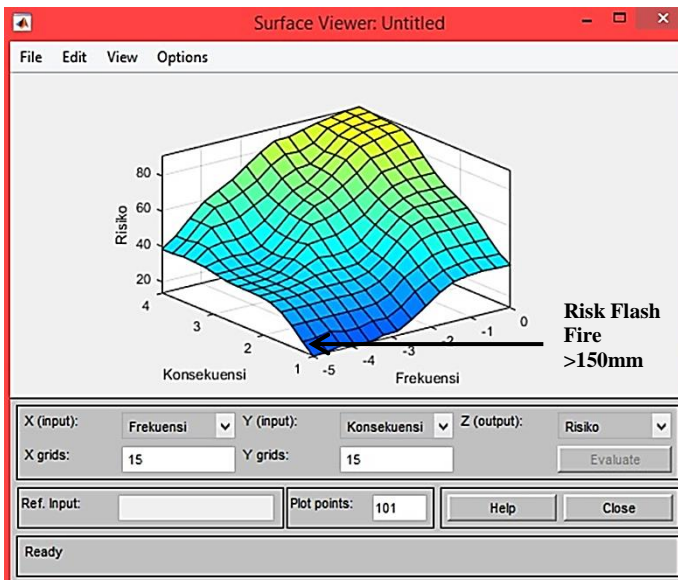


Gambar 4.20 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.

4. Setelah memasukkan 80 rules maka matlab secara otomatis akan melakukan pemetaan dari data-data yang sudah di input. Berikut adalah pemetaan berdasarkan fungsi fuzzy pada matlab.



Gambar 4.21 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Flash fire dengan kebocoran fullbore >150mm .



Gambar 4.22 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab

Setelah pemetaan dapat dilakukan maka didapatkan tingkat risiko pada masing-masing node dengan melihat grafik risk matriks pada matlab tersebut. Terlihat pada scenario Flash Fire dengan kebocoran Fullbore >150 mm tingkat risiko berada pada angka 13.4 dengan kategori Low Risk direpresentasikan pada risk matrix fuzzy dengan warna biru tua. Sehingga tidak diperlukan mitigasi.

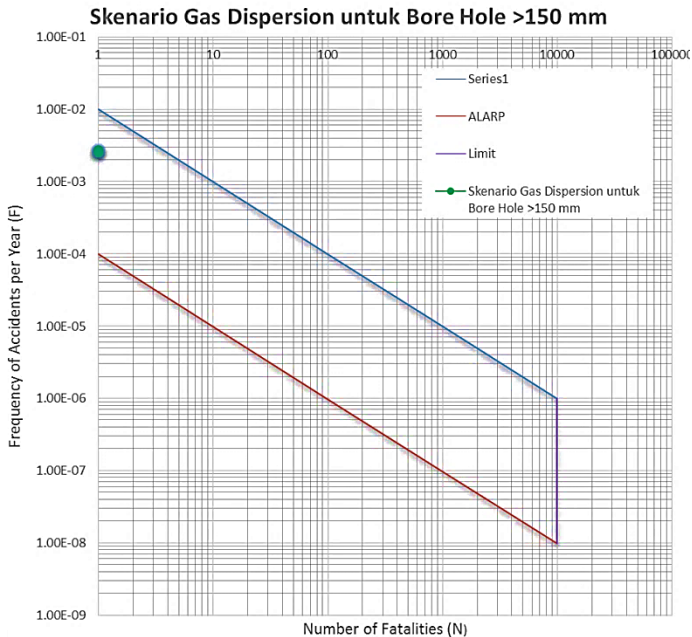
4.6.5 Representasi Risiko *gas dispersion*

Berikut adalah rekapitulasi frekuensi, frekuensi kumulatif dan konsekuensi skenario *gas dispersion* untuk masing-masing lokasi analisa.

Tabel 4.33 Rekapitulasi *gas dispersion* untuk skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Skenario Gas Dispersion untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	2.55E-03	2.55E-03
2	Fleksible Hose	1	7.30E-05	2.62E-03
3	Gas Arar	1	8.49E-05	2.70E-03

Sama halnya dengan skenario sebelumnya, dari tabel tersebut nilai *fatalities* sebagai hasil analisa konsekuensi dan cumulative frekuensi dipergunakan sebagai masukan pada F-N *curve*. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.23 F-N curve untuk *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Selanjutnya hasil dari F-N curve untuk scenario kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran D. Dan dibawah ini adalah rekapitulasi risiko *gas dispersion* pada seluruh node dan skenario.

Tabel 4.34 Rekapitulasi tingkat risiko *gas dispersion* untuk seluruh skenario kebocoran

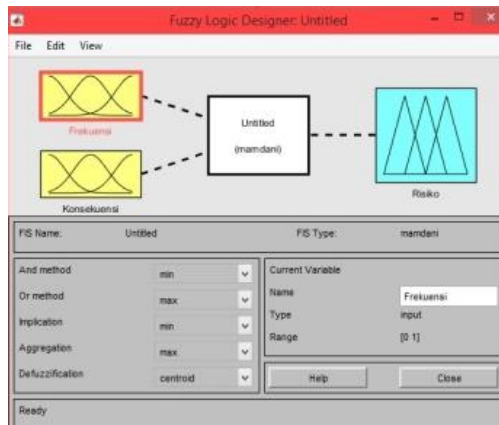
GAS DISPERSION			
RISK LEVEL	TOTAL		
	NODE 1	NODE 2	NODE 3
ACCEPTABLE	0	0	0
ALARP	3	3	3
UNACCEPTABLE	0	0	0

Terlihat dari tabel 4.34, tidak seperti kedua skenario bahaya sebelumnya, tingkat risiko *gas dispersion* pada semua node berada pada level yang ALARP sehingga harus dilakukan mitigasi.

4.6.6 Representasi Risiko *gas dispersion* dengan menggunakan *Fuzzy Inference System*

Setelah nilai frekuensi dan konsekuensi diperoleh, maka tingkat risiko dapat direpresentasikan dengan bantuan perangkat lunak Matlab dengan fungsi fuzzy, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penentuan risiko yang ada.

1. Menentukan Input yang digunakan dalam perangkat lunak Matlab tersebut, untuk permasalahan ini menggunakan 2 input yaitu nilai frekuensi dan konsekuensi untuk dapat diproses dengan menggunakan fungsi fuzzy dengan metode Mamdani yang menghasilkan output risiko. Berikut adalah skema gambar fuzzy yang menjadi input.



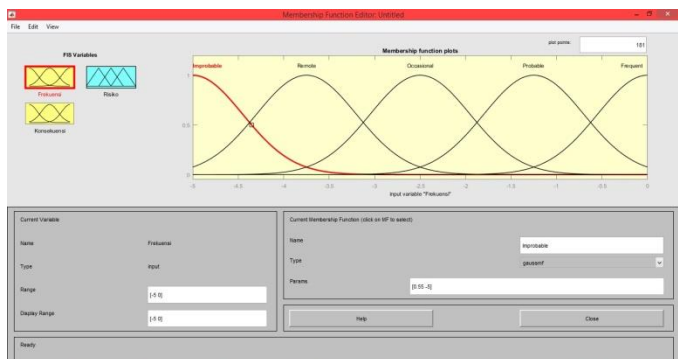
Gambar 4.24 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi dan Konsekuensi dan Output Risiko.

2. Memasukkan nilai-nilai dari probability, consequence dan risk yang telah ditentukan berdasarkan standar MIL-STD-882D. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai range untuk dapat di-input kedalam fungsi fuzzy. Nilai-nilai yang digunakan sebagai batasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.35 Batasan Probability yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Level	Specific Individual Item	Fleet or Inventory
Frequent	A	Likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than 10^{-1} in that life.	Continuously experienced
Probable	B	Will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-1} but greater than 10^{-2} in that life.	Will occur frequently
Occasional	C	Likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-2} but greater than 10^{-3} in that life.	Will occur several times.
Remote	D	Unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-3} but greater than 10^{-6} in that life.	Unlikely, but can reasonably be expected to occur.
Improbable	E	So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than 10^{-6} in that life.	Unlikely to occur, but possible.

Sumber: MIL-STD-882D



Gambar 4.25 Skema Fuzzy dengan input Frekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk frekuensi terbagi menjadi 5 bagian berdasarkan angka frekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi focus utama dalam mengetahui angka frekuensi setiap scenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

Tabel 4.36 Batasan Konsekuensi yang akan digunakan sebagai input pada fungsi fuzzy

Description	Category	Environmental, Safety, and Health Result Criteria
Catastrophic	I	Could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.
Critical	II	Could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, loss exceeding \$200K but less than \$1M, or reversible environmental damage causing a violation of law or regulation.
Marginal	III	Could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days (s), loss exceeding \$10K but less than \$200K, or mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished.
Negligible	IV	Could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation.

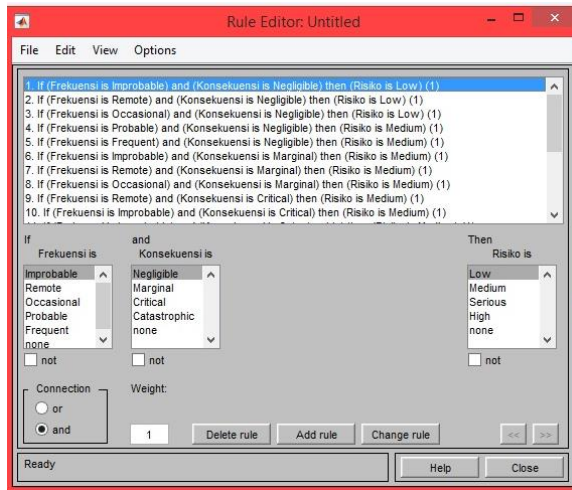
Sumber: MIL-STD-882D



Gambar 4.26 Skema Fuzzy dengan input Konsekuensi berdasarkan MIL-STD-882D.

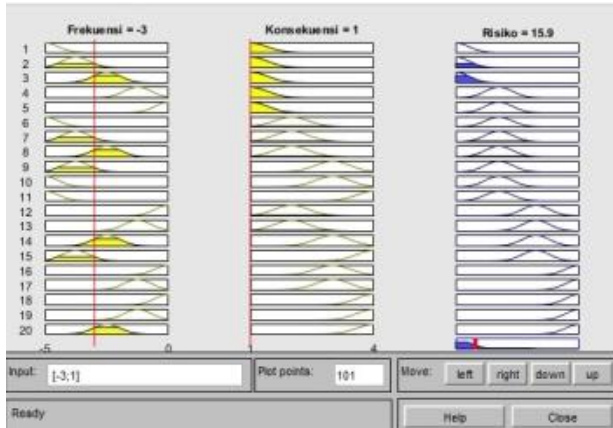
Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa input untuk konsekuensi terbagi menjadi 4 bagian berdasarkan angka konsekuensi yang telah ditentukan berdasarkan standar yang digunakan. Batasan-batasan tersebut menjadi focus utama dalam mengetahui angka konsekuensi setiap scenario termasuk dalam salah satu batasan tersebut.

3. Memasukkan rules dari 5 probability, 4 consequence dan 4 risk. Satu rules berisi 1 probability, 1 consequence dan 1 risk. Jadi dalam model ini ada $5 \times 4 \times 4 = 80$ rules.

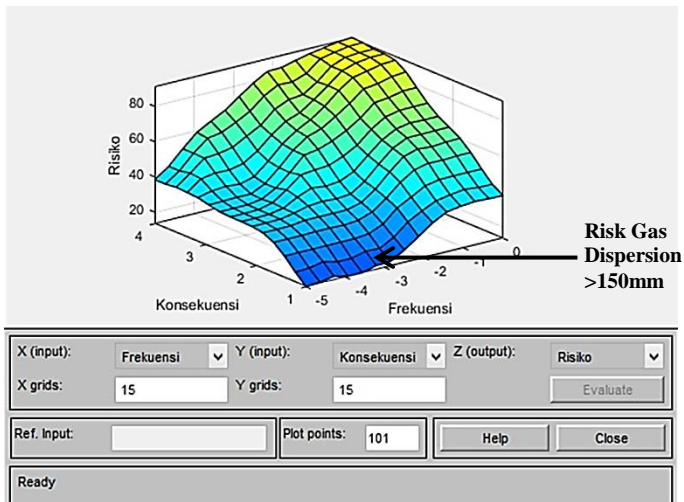


Gambar 4.27 Skema Fuzzy dengan proses pembuatan Rules.

4. Setelah memasukkan 80 rules maka matlab secara otomatis akan melakukan pemetaan dari data-data yang sudah di input. Berikut adalah pemetaan berdasarkan fungsi fuzzy pada matlab.



Gambar 4.28 Skema Fuzzy dengan distribusi nilai probability, consequence dan risk pada simulasi Gas Dispersion dengan kebocoran fullbore >150mm .



Gambar 4.29 Hasil pemetaan yang dihasilkan pada fungsi fuzzy dengan perangkat lunak Matlab

Setelah pemetaan dapat dilakukan maka didapatkan tingkat risiko pada masing-masing node dengan melihat grafik risk matriks pada matlab tersebut. Terlihat pada scenario Gas Dispersion dengan kebocoran Fullbore >150 mm tingkat risiko berada pada angka 15.9 dengan kategori Low Risk direpresentasikan pada risk matrix fuzzy dengan warna biru tua. Sehingga tidak diperlukan mitigasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisa risiko pada proses ship to ship transfer LPG antara kapal Pertamina Gas 1 dengan kapal Gas Arar di perairan Kalbut Situbondo, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan identifikasi bahaya, pada saat proses unloading LPG terdapat 3 potensi bahaya seperti *jet fire*, *flash fire*, ataupun *gas dispersion*. *Flash fire* merupakan potensi bahaya yang apabila terjadi mempunyai peluang paling besar mengakibatkan korban jiwa.
2. Dari analisa frekuensi bahaya untuk 3 skenario kebocoran yaitu small (10-50mm), medium (50-100mm) dan fullbore (>150mm) maka potensi bahaya yang memiliki frekuensi terbesar adalah *Gas Dispersion* dengan nilai frekuensi $2,55 \times 10^{-3}$ /tahun.
3. Dari analisa konsekuensi bahaya untuk masing-masing potensi bahaya yang memiliki tingkat konsekuensi yang tinggi hingga rendah adalah *Flash Fire*, *Jet Fire* dan *Gas Dispersion*.
4. Dari hasil analisa risiko, menggunakan *Fuzzy Inference System* didapatkan hasil risiko untuk masing-masing skenario kebocoran dan masing-masing potensi bahaya adalah sebagai berikut:
 - a. Jet fire (full bore >150mm) : 34.7 (medium risk)
 - b. Flash fire (full bore >150mm) : 13.4 (low risk)
 - c. Gas Dispersion (full bore >150mm) : 15.9 (low risk)
5. Berdasarkan hasil representasi risiko menunjukkan bahwa dari 3 skenario kebocoran dan 3 potensi bahaya yang

terjadi apabila proses unloading LPG dilakukan menunjukkan bahwa tingkat risiko berada pada daerah “Acceptable”, “Low risk” dan “Medium risk” pada *Fuzzy Inference System* sehingga tidak dilakukan proses mitigasi berdasarkan metode LOPA.

5.2 Saran

Setelah dilakukan analisa risiko proses ship to ship transfer LPG, maka didapatkan saran sebagai berikut :

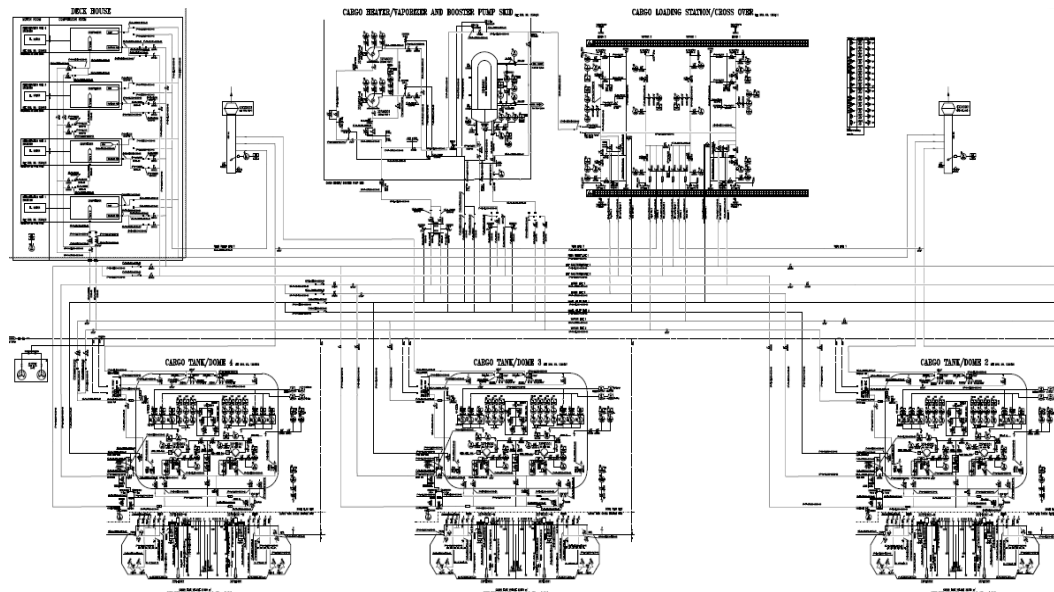
1. Pada proses identifikasi bahaya dengan HAZOP sebaiknya menggunakan P&ID yang paling akurat dan terbaru, sehingga kondisi yang dianalisa benar-benar dapat mewakili kondisi sebenarnya. Dan diperlukan interview dengan orang yang sudah ahli dalam bidang tersebut, sehingga HAZOP akan menjadi lebih detail.
2. Pada proses *fire modelling*, perangkat lunak ALOHA sangat memiliki keterbatasan. Sehingga untuk analisa-analisa berikutnya, akan lebih baik jika menggunakan perangkat lunak yang lebih akurat, seperti DNV PHAST.
3. Merepresentasikan risiko dengan menggunakan metode yang berbeda, agar dapat menghasilkan perbedaan sehingga dapat dibandingkan antara metode satu dan metode yang lainnya.

Daftar Pustaka

- Aliyah, Y.F., 2014. Analisis Risiko Sosial pada Terminal Penerima LNG Pesanggaran dengan Metode Fire and Explosion Modelling. pp.12-13.
- Berg, A.C.V.D., 2015. Vapor Cloud Explosion Blast Modelling.
- Fahreza, Y.A., 2015. Risk Assessment of fire/Explosion Aboard Tankers During Service.
- Falopi, T., 2015. Aplikasi Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto.
- Fauzi, R., 2016. *Penilaian Risiko Sosial Unloading Muatan Pada Terminal Penerima CNG, Studi Kasus: Terminal Penerima CNG di Pembangkit Lombok Peaker*. Surabaya.
- Handiyana, I.G.N., 2016. Anatomi Kapal LPG Carrier.
- Hayati, N., 2016. Analisa Risiko Sosial Pada Jalur Pipa LNG Teluk Benoa Bali. *Desain pipa gas*.
- HSE, U., n.d. *Fire and Explosion Strategy*. Offshore Division.
- Kusumadewi, S., 2013. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- L.A, Z., 1965. *Fuzzy Sets*. Information and Control.
- Munir, R., n.d. [Online].
- Pujiono, B., n.d. Analisis Potensi Bahaya Serta Rekomendasi Perbaikan dengan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) Melalui Perangkingan OHS Risk Assessment and Control. *HAZOP*.
- Ragheb , M., 2013. *Event Tree Analysis*.
- Rew, P.J. & Spencer, H., 2015. The Sensitivity of Risk Assessment of Flash Fire Events to Modelling Assumptions.

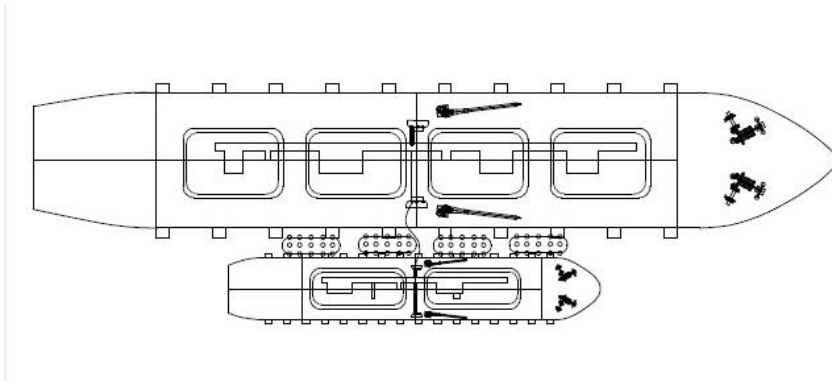
- Rikayanti, N., 2015. *Penilaian Risiko Sosial dan Analisis Geoteknik Terhadap Jalur Pipa LPG Semarang*. Surabaya.
- Roberts, T., 2001. Consequences of Jet-Fire Interaction with Vessels Containing Pressurised, Reactive Chemicals.
- Saelan, A., 2009. Logika Fuzzy. pp.4-5.
- Seattle, W., 2013. *ALOHA (Areal Locations Of Hazardous Atmospheres) 5.4.4*.
- Shipping, I.C.o., 1995. Ship to Ship Transfer Guide. In Shipping, I.C.o. *Ship to Ship Transfer Guide*. witherby. pp.8-9.
- Stavrou, D.I. & Ventikos, N.P., 2014. Ship to Ship Transfer of Cargo Operations: Risk. *Risk Analysis and Crisis Response*, pp.214-27.
- Syukur, M., n.d. Penggunaan Liquified Petroleum Gases (LPG): Upaya mengurangi kecelakaan akibat LPG. *Karakteristik LPG*.

LAMPIRAN A
(Layout dan P&ID)



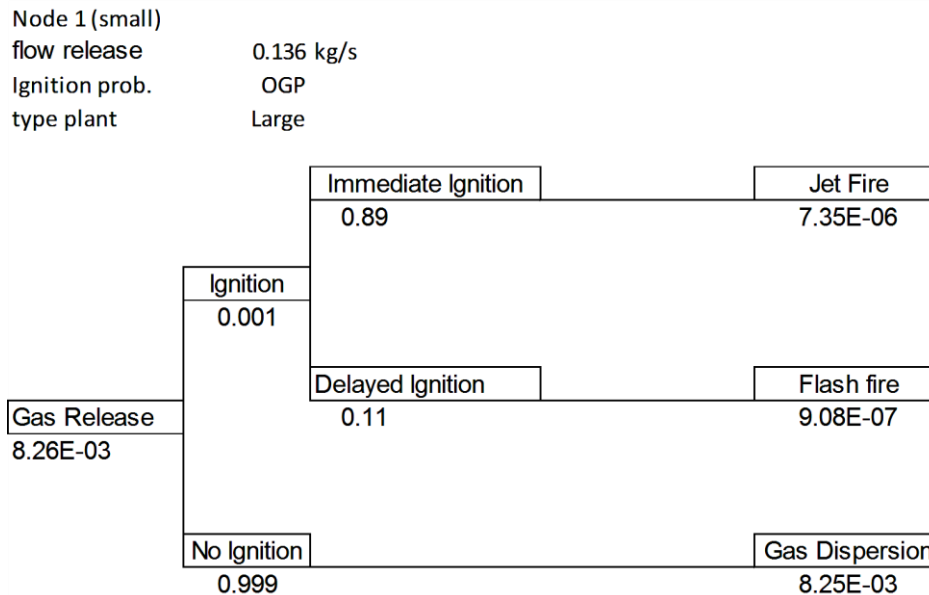
Gambar 0.1 P&ID Kapal Pertamina Gas 1





Gambar 0.3 *Kedua Kapal dengan fleksible hose connected*

LAMPIRAN B
(Analisa Frekuensi)



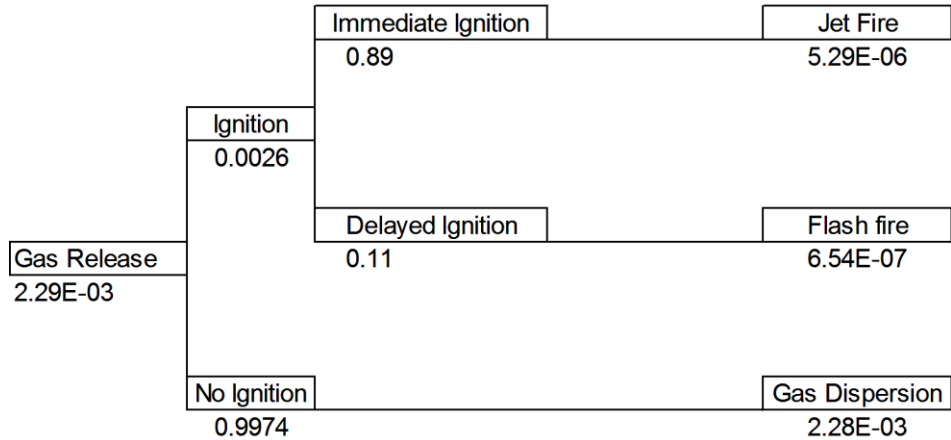
Gambar 0.1 ETA pada Node 1 (10-50mm)

Node 1 (medium)

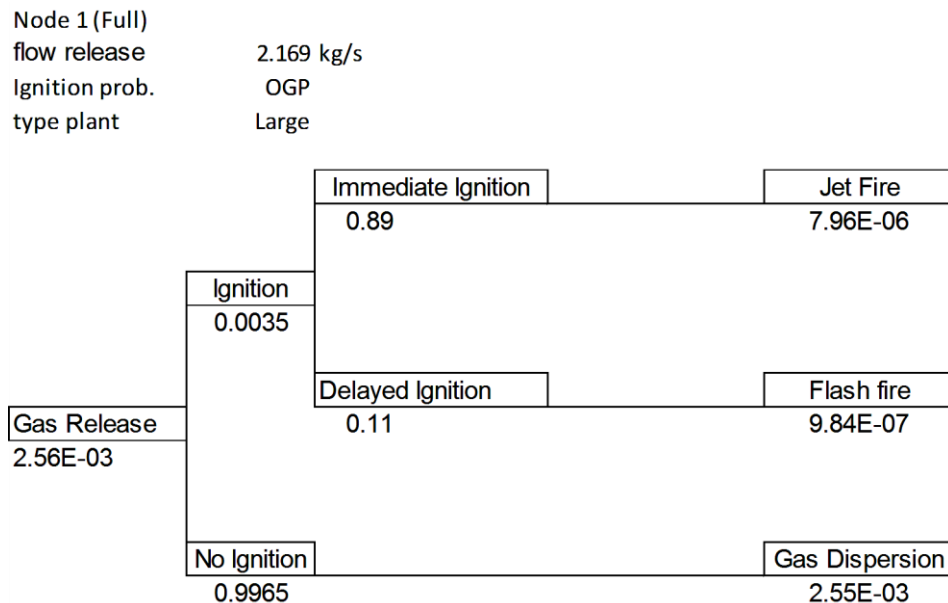
flow release 1.220 kg/s

Ignition prob. OGP

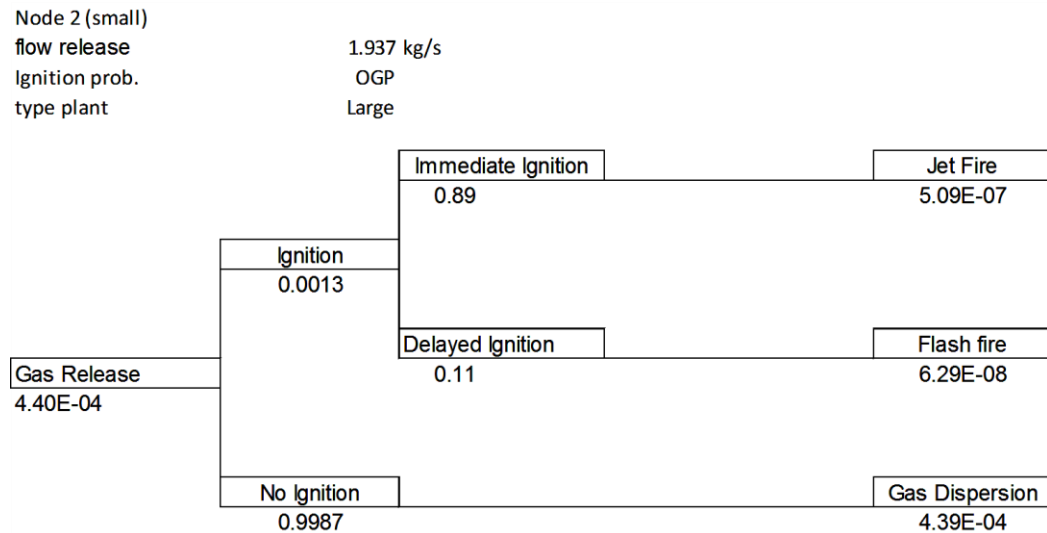
type plant Large



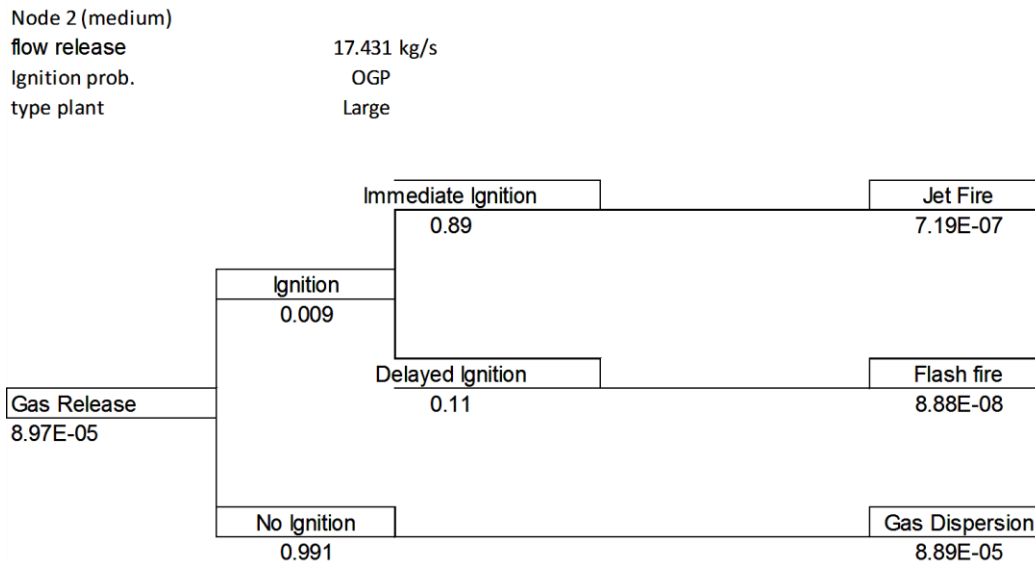
Gambar 0.2 ETA pada Node 1 (50-150mm)



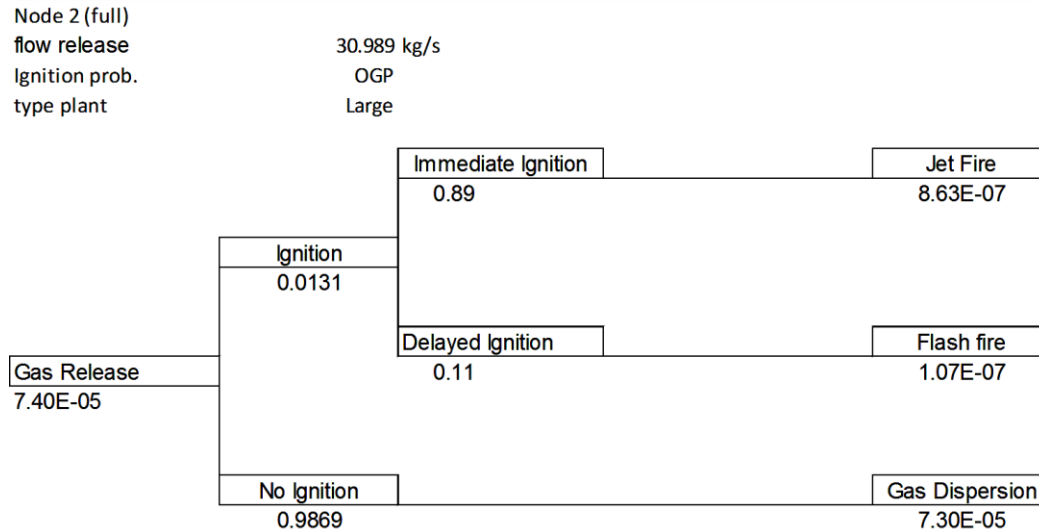
Gambar 0.3 ETA pada Node 1 (>150mm)



Gambar 0.4 ETA pada Node 2 (10-50 mm)



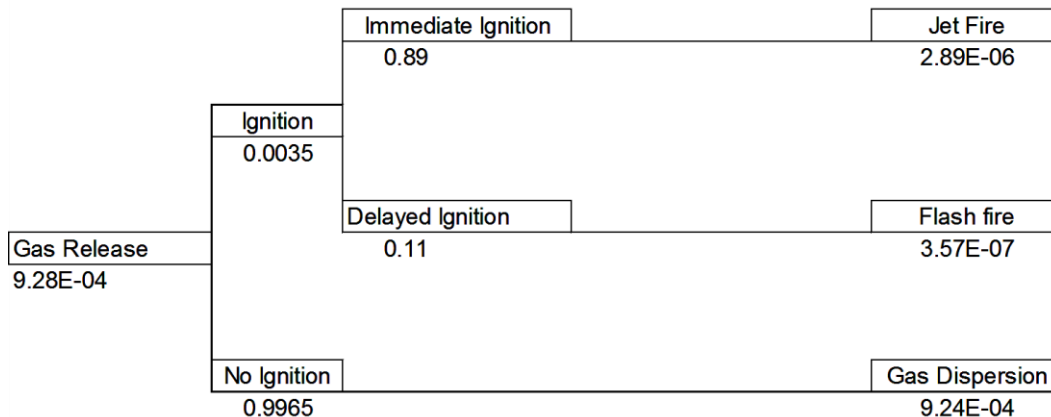
Gambar 0.5 ETA pada Node 2 (50-150mm)



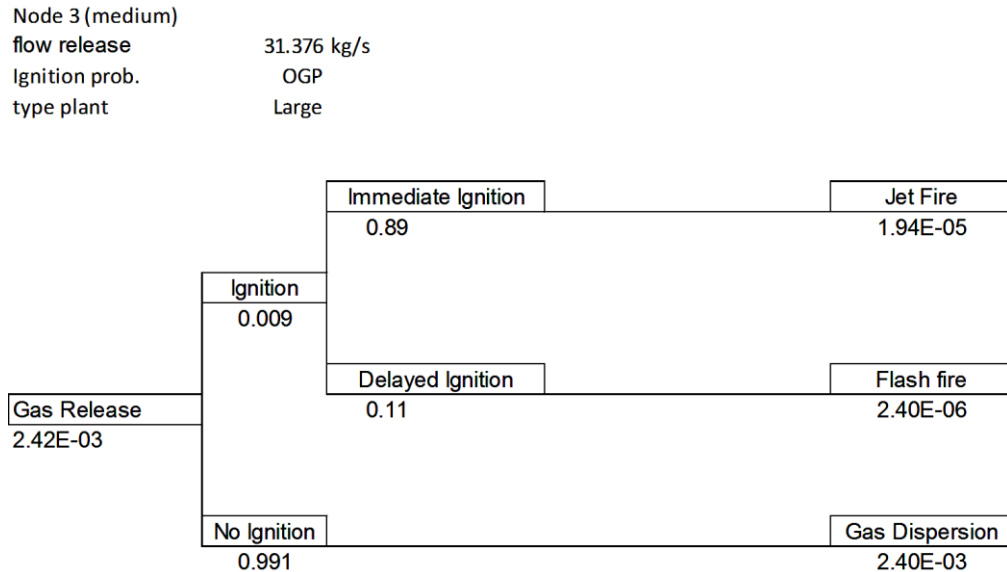
Gambar 0.6 ETA pada Node 2 (>150 mm)

Node 3 (small)
flow release
Ignition prob.
type plant

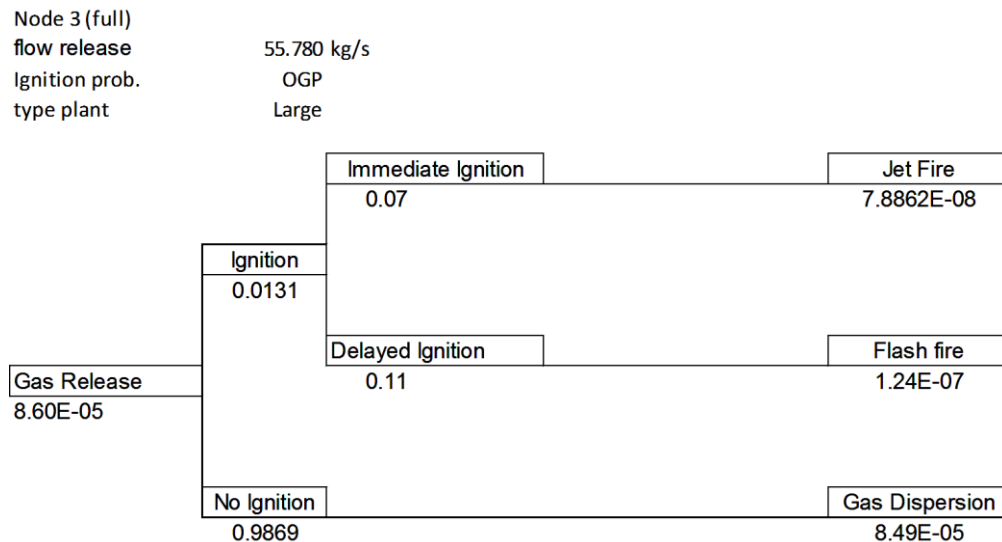
3.486 kg/s
OGP
Large



Gambar 0.7 ETA pada Node 3 (10-50mm)

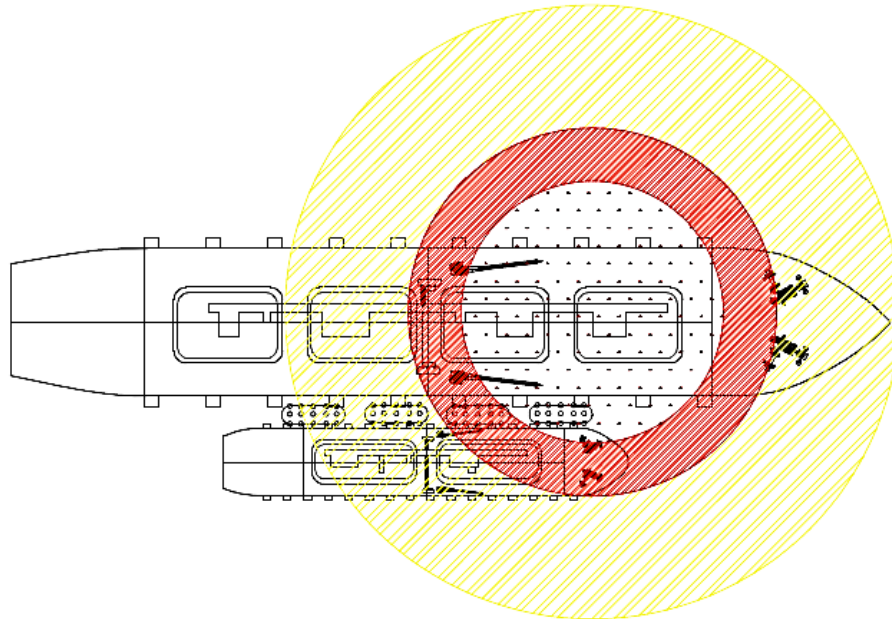


Gambar 0.8 ETA pada Node 3 (50-150mm)

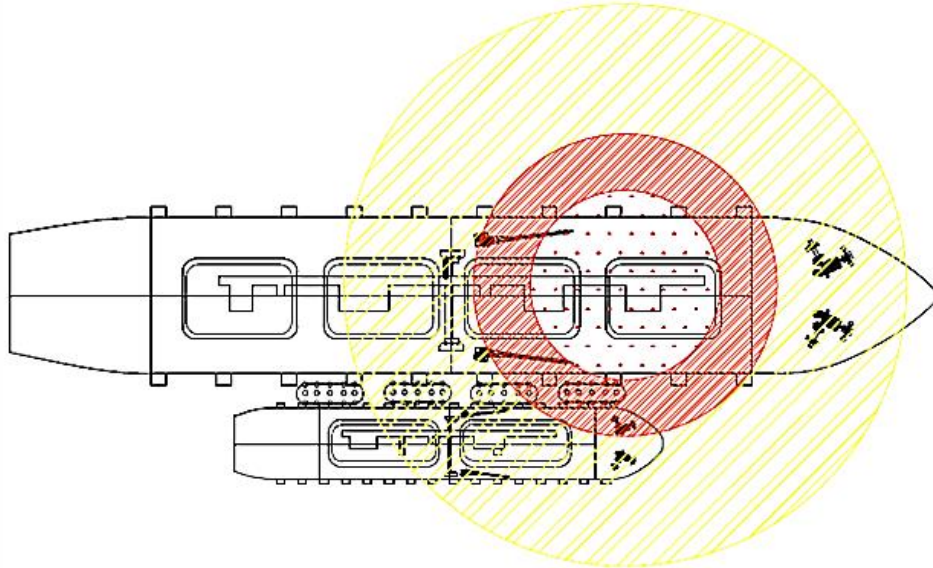


Gambar 0.9 ETA pada Node 3 (>150mm)

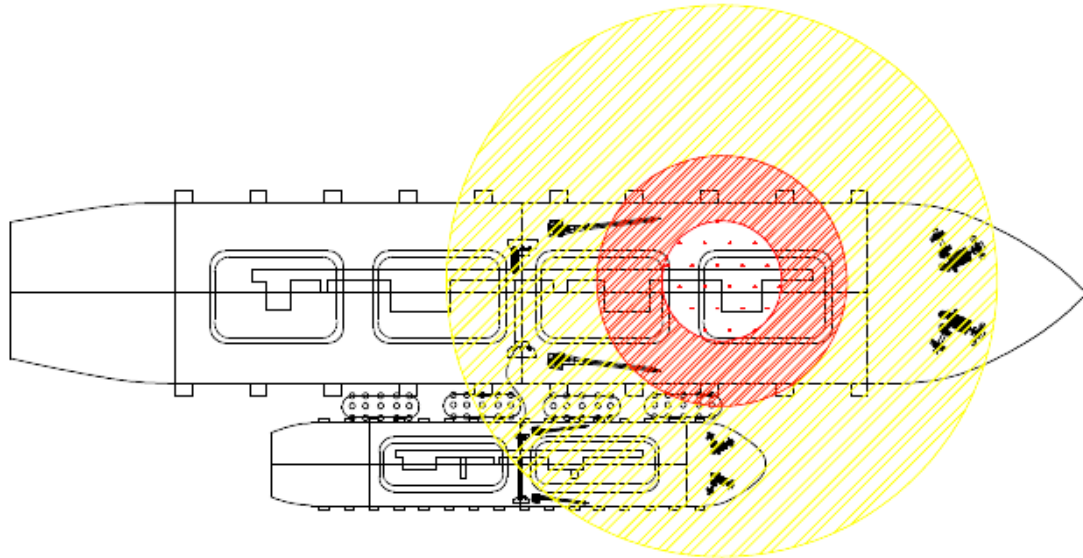
LAMPIRAN C
(Analisa Konsekuensi)



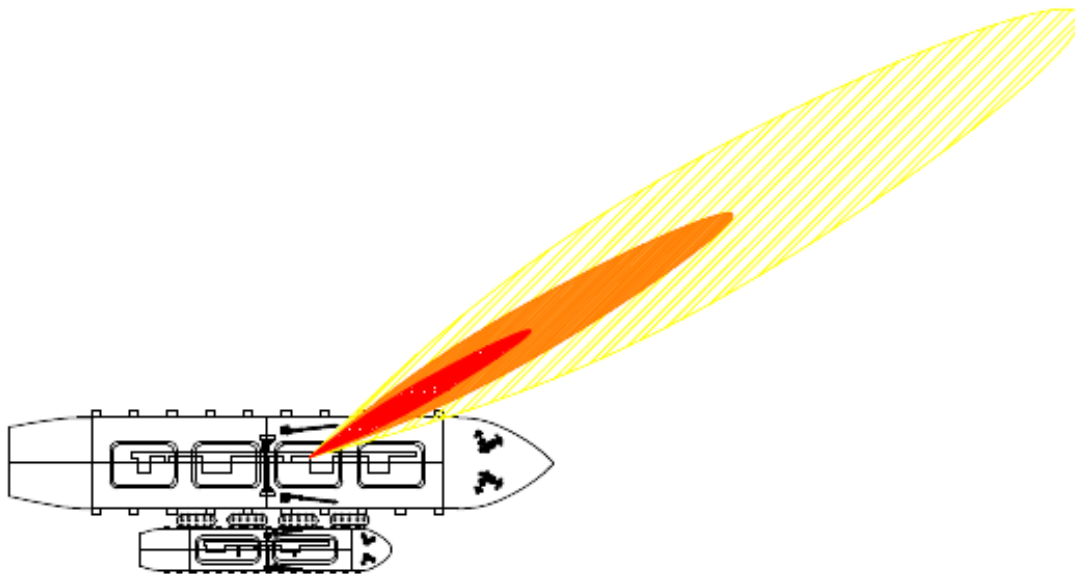
Gambar 15 *Fire modelling* ALOHA skenario *jet fire* dengan kebocoran *full bore* (>150 mm) pada Node 1



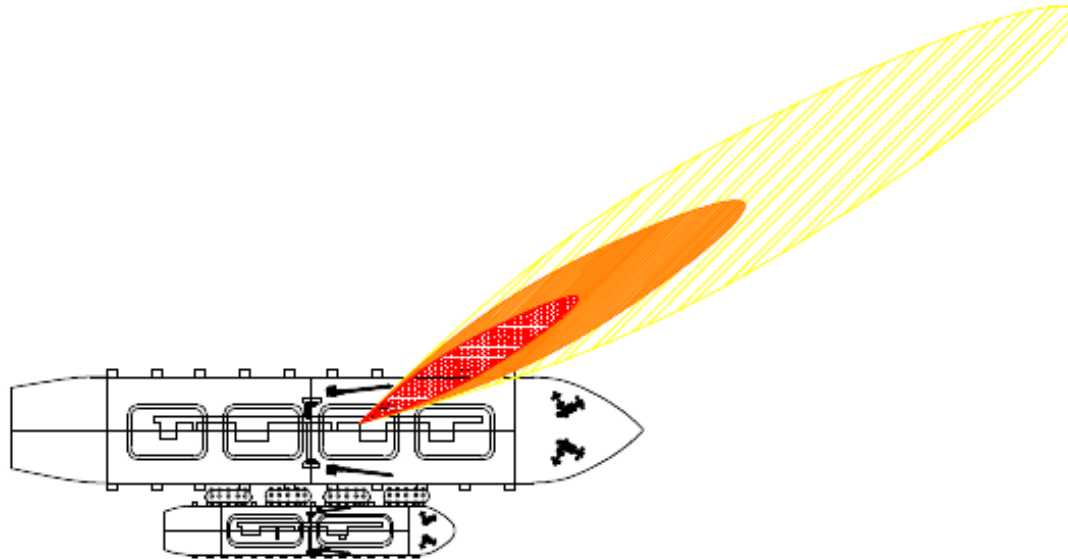
Gambar 16 Fire modelling ALOHA skenario *jet fire* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 1



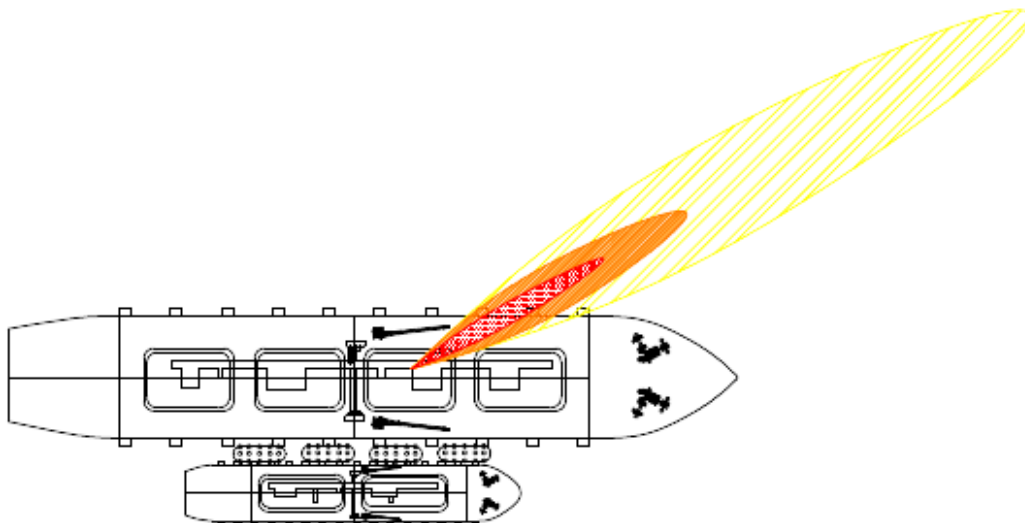
Gambar 17 Fire modelling ALOHA skenario *jet fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 1



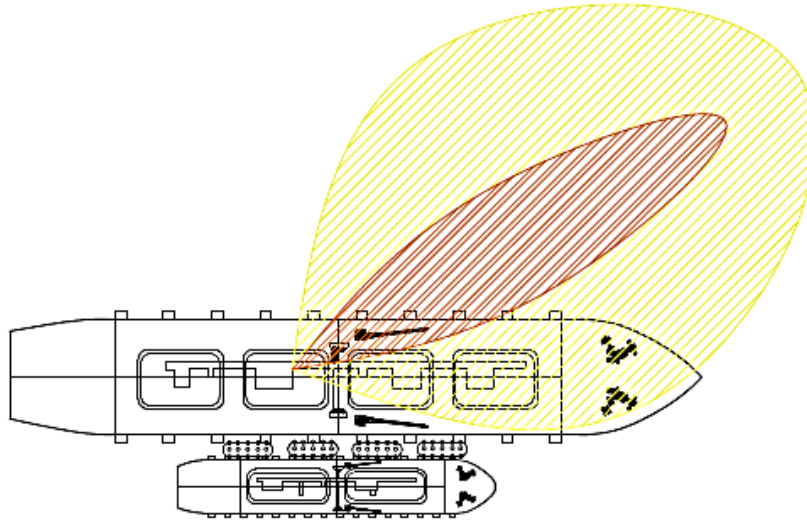
Gambar 18 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 1



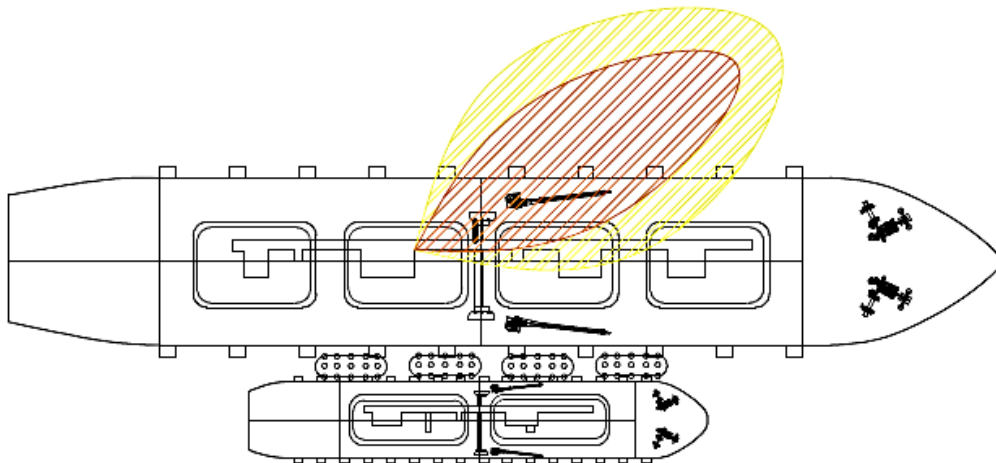
Gambar 19 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 1



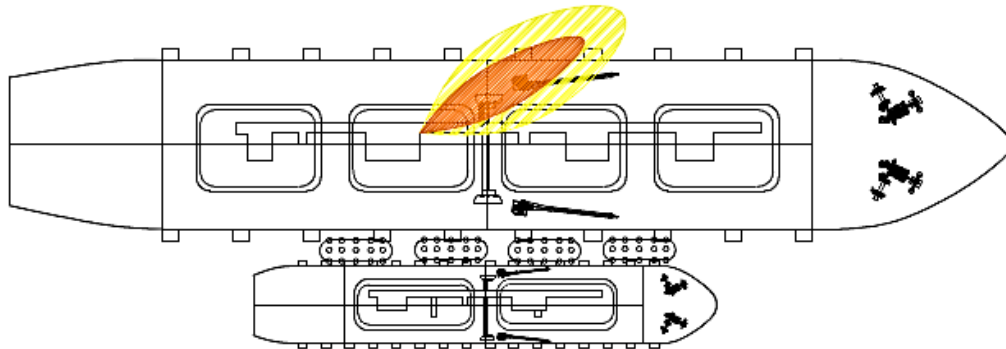
Gambar 20 Fire modelling ALOHA skenario *gas dispersion* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 1



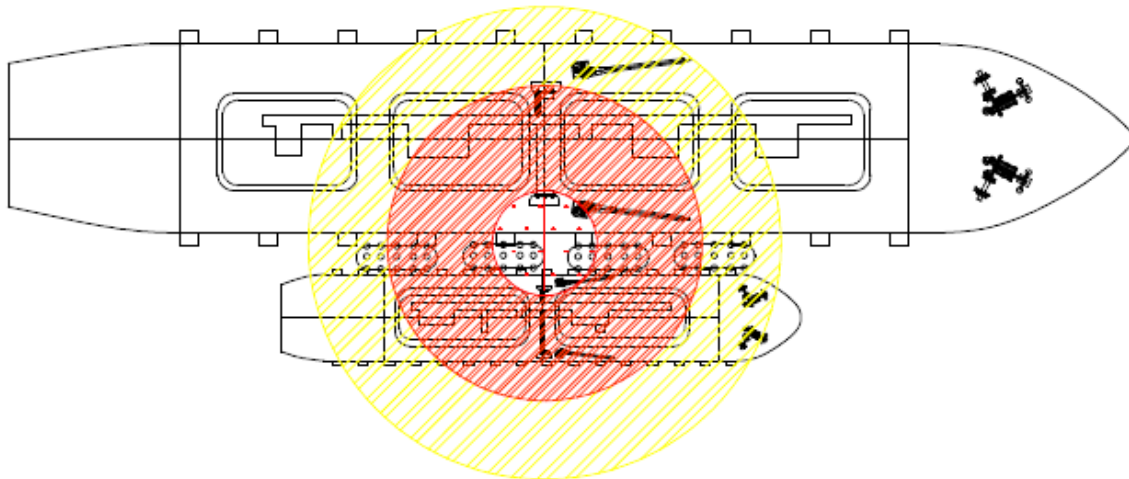
Gambar 21 Fire modelling ALOHA skenario *FlashFire* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 1



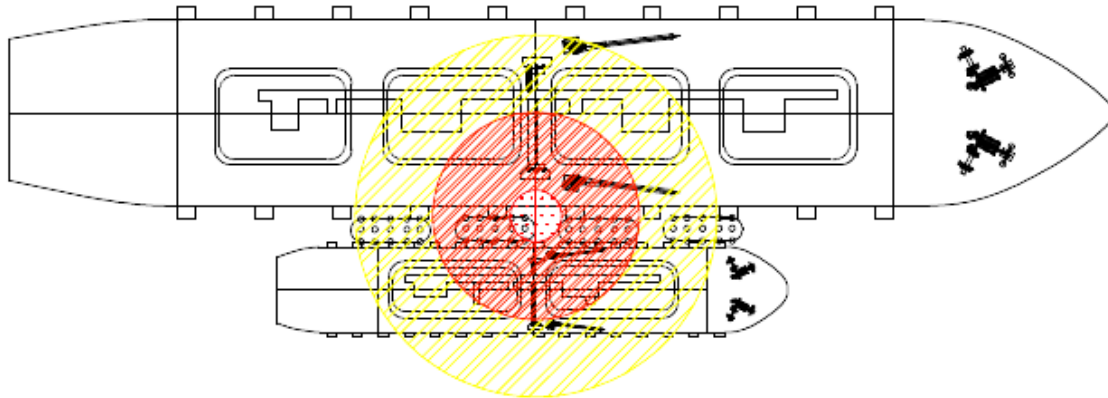
Gambar 22 Fire modelling ALOHA skenario *Flash Fire* dengan kebocoran *Medium bore* (10-50 mm) pada Node 1



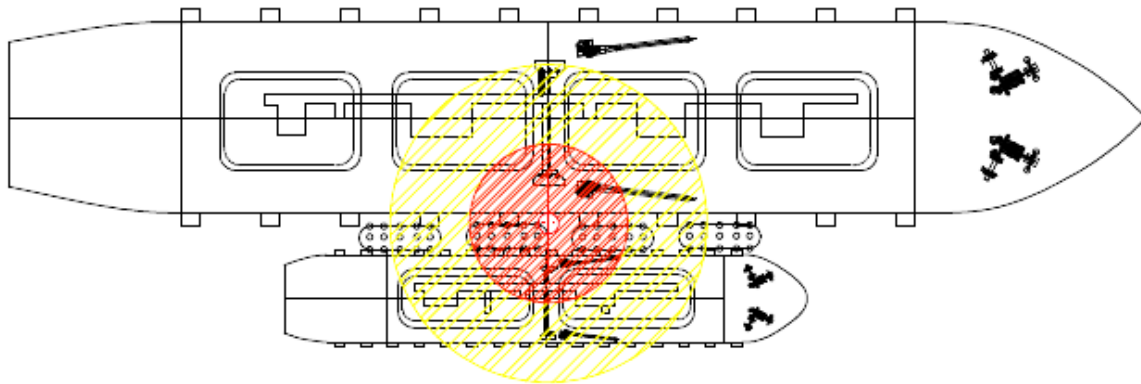
Gambar 23 Fire modelling ALOHA skenario *flash fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 1



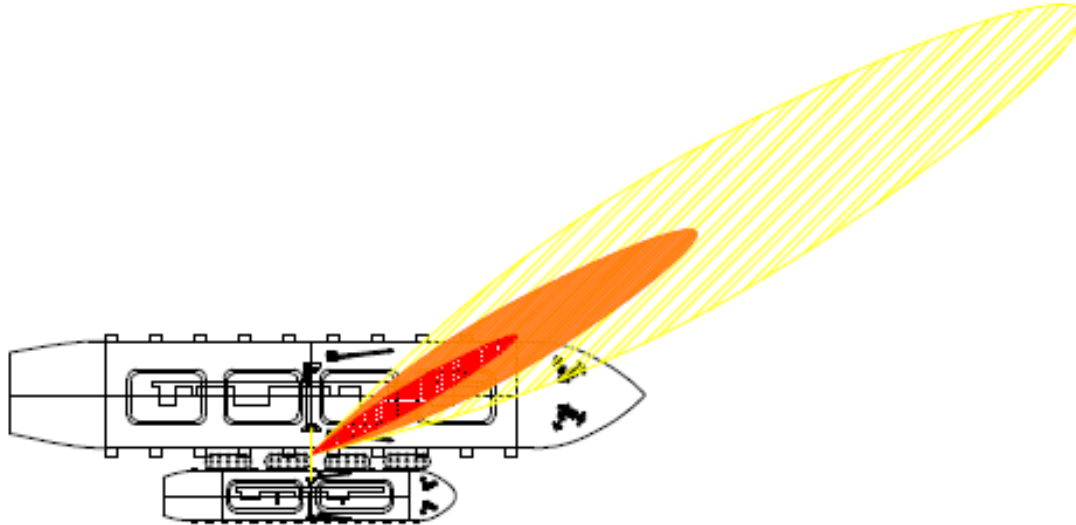
Gambar 24 Fire modelling ALOHA skenario *Jet fire* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 2



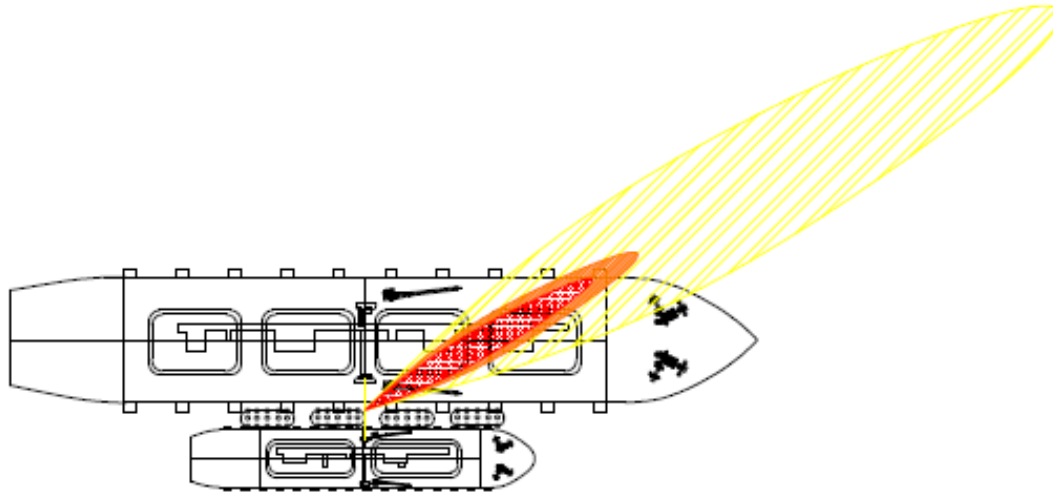
Gambar 25 Fire modelling ALOHA skenario *Jet fire* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 2



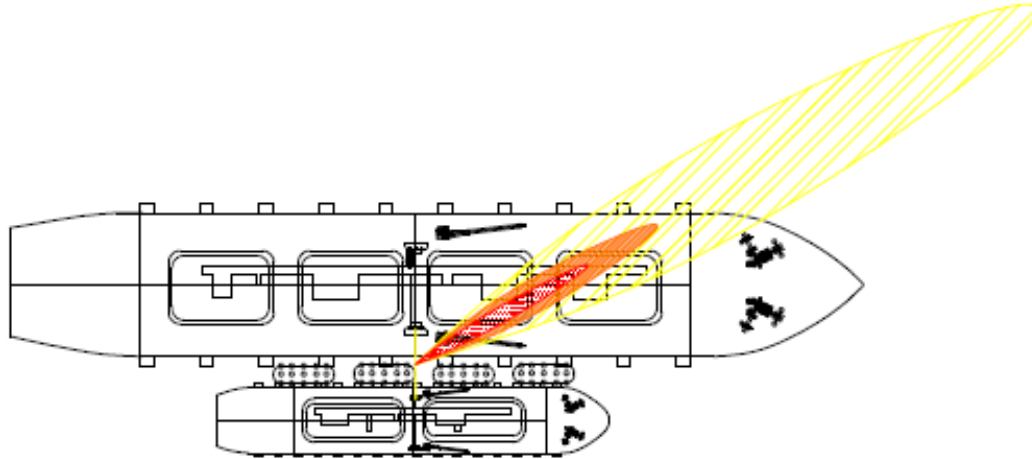
Gambar 26 Fire modelling ALOHA skenario *Jet fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 2



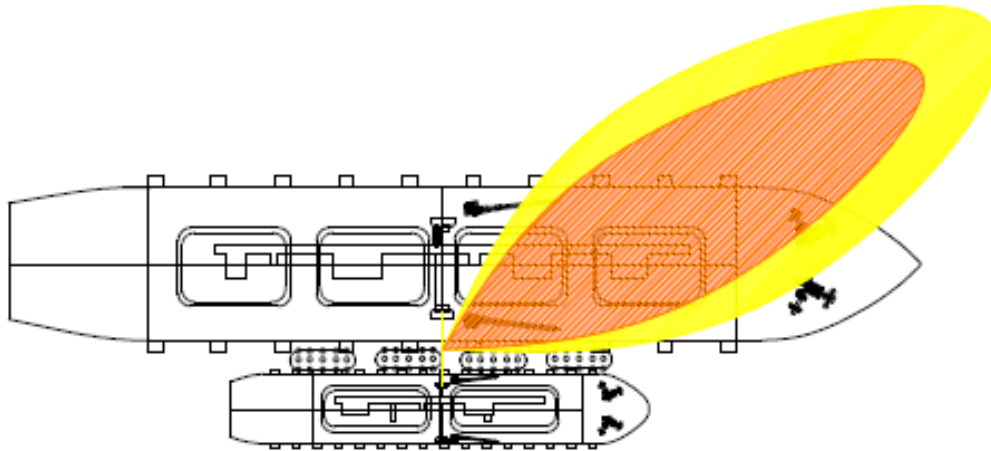
Gambar 27 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 2



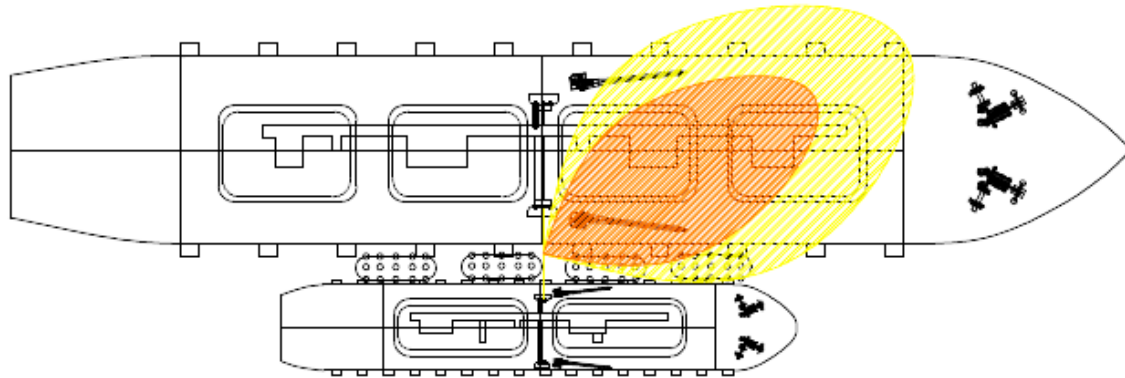
Gambar 28 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 2



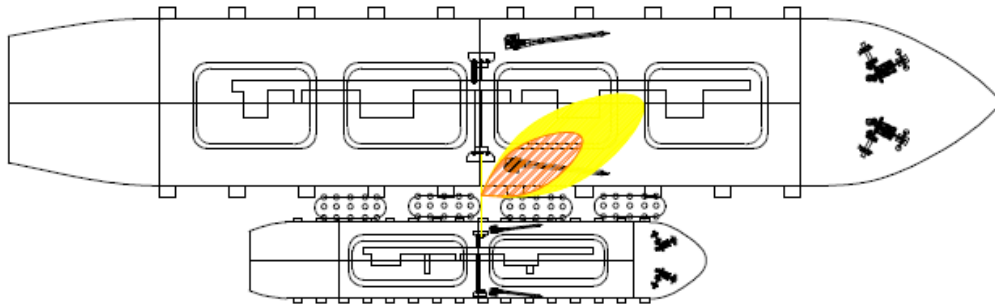
Gambar 29 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 2



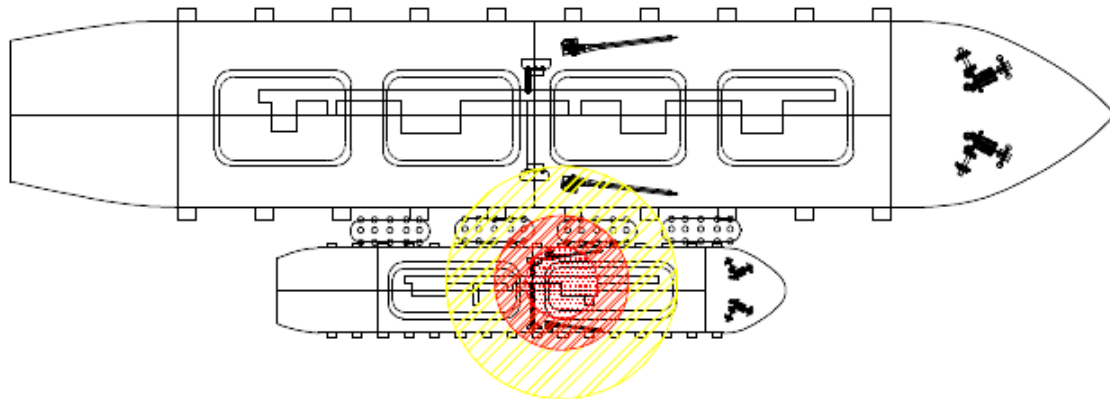
Gambar 30 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 2



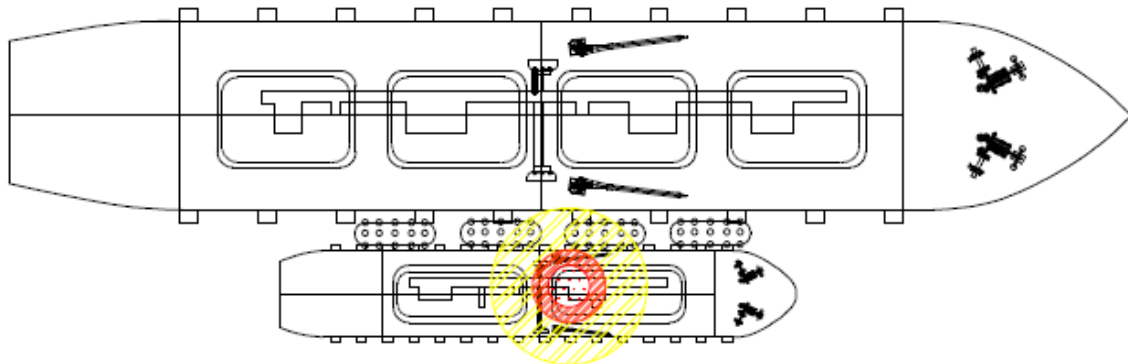
Gambar 31 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 2



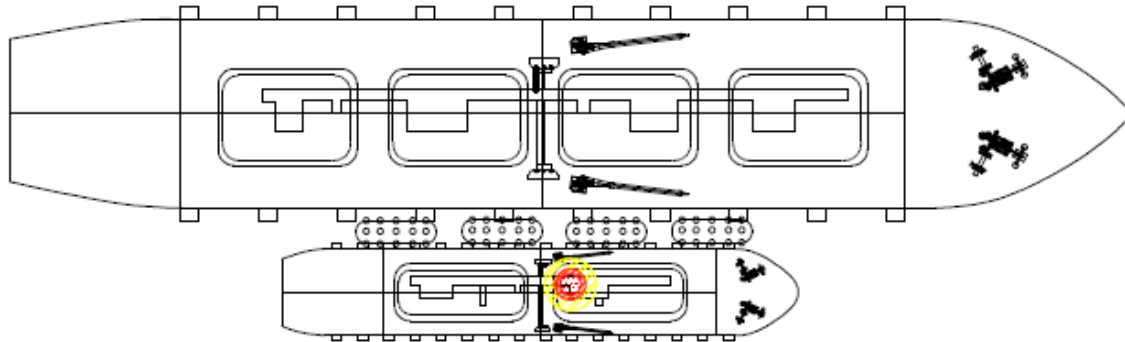
Gambar 32 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 2



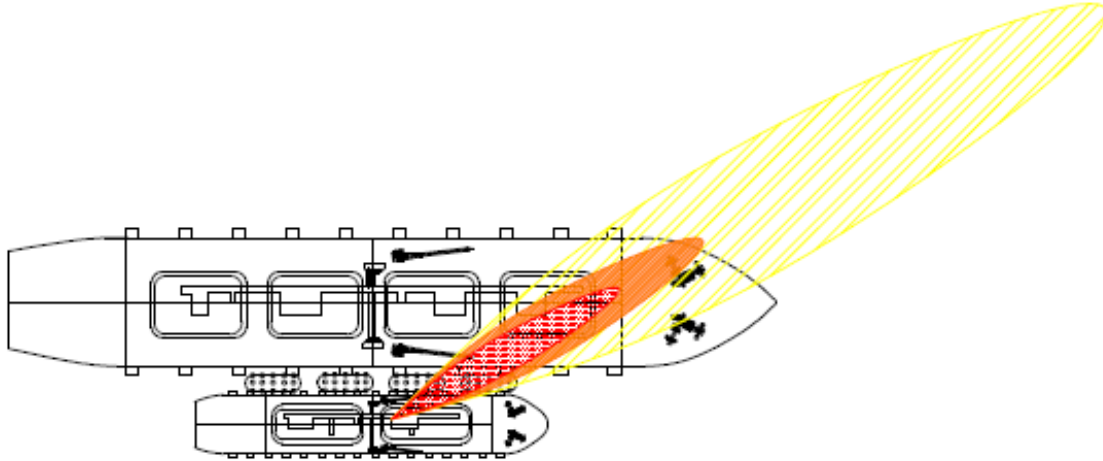
Gambar 33 Fire modelling ALOHA skenario *Jet fire* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 3



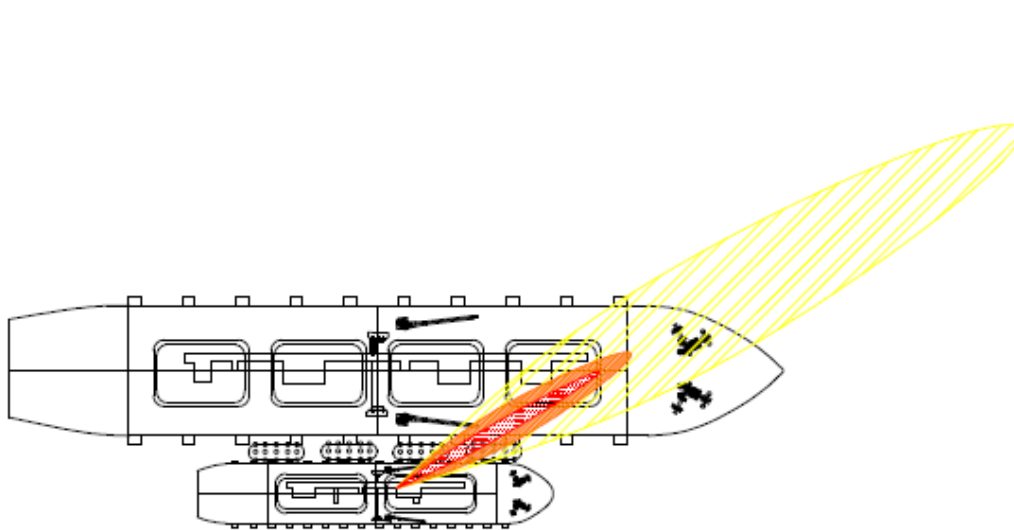
Gambar 34 Fire modelling ALOHA skenario Jet fire dengan kebocoran Medium bore (50-150 mm) pada Node 3



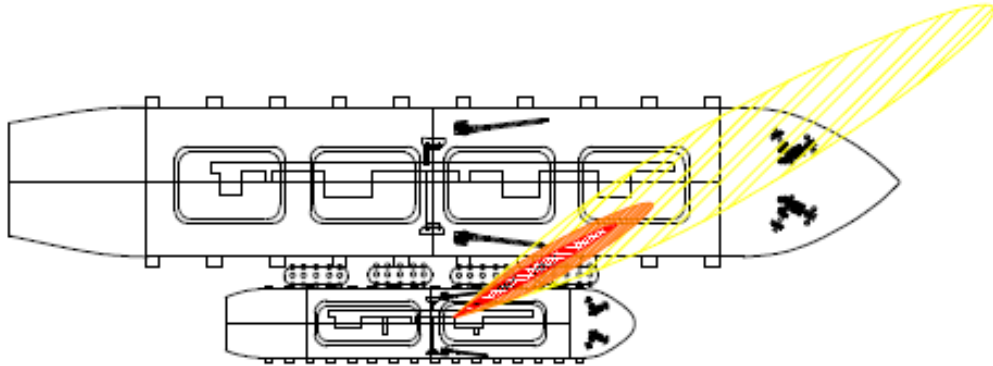
Gambar 35 Fire modelling ALOHA skenario *Jet fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 3



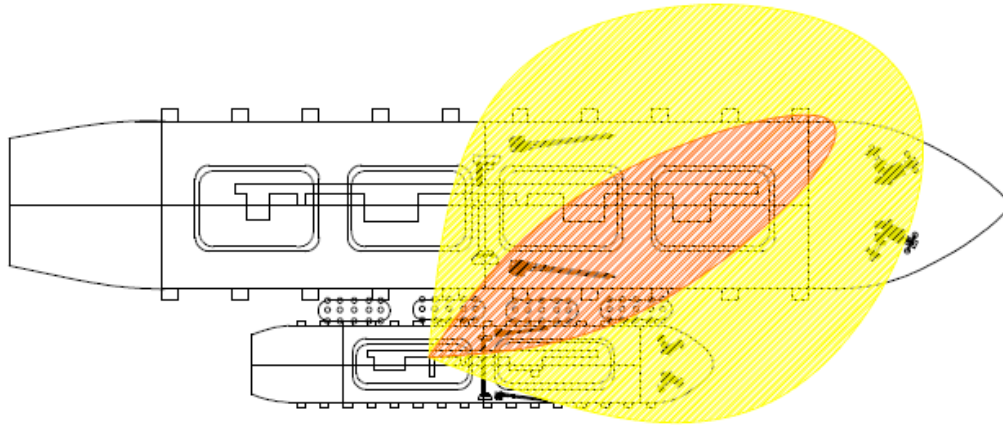
Gambar 36 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 3



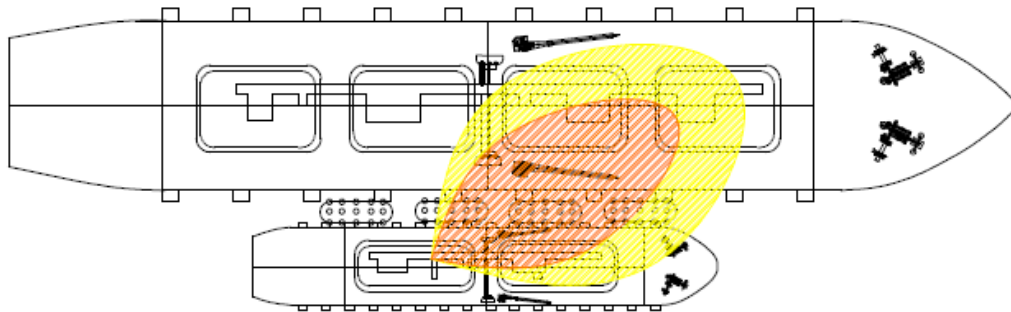
Gambar 37 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 3



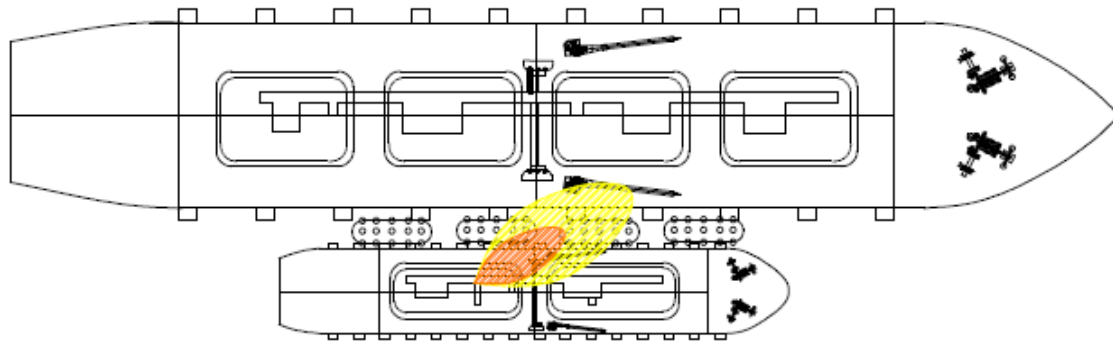
Gambar 38 Fire modelling ALOHA skenario *Gas Dispersion* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 3



Gambar 39 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Full bore* (>150 mm) pada Node 3



Gambar 40 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Medium bore* (50-150 mm) pada Node 3



Gambar 41 Fire modelling ALOHA skenario *Flash fire* dengan kebocoran *Small bore* (10-50 mm) pada Node 3

Tabel 1 Rekapitulasi *fire modelling jet fire* pada semua node dengan skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3		3 / 89 m /60 s		-		3
	TOTAL							3
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	3 / 14 m / 60 s	-	-	-		3
	TOTAL							3

[illegible]

Tabel 3 Rekapitulasi fire modelling *jet fire* dengan skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m2)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tole rable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	-	3 / 30 m / 60 s	-	-		3
	TOTAL							3
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~		-
	TOTAL							0

Tabel 4 Rekapitulasi fire modelling *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				PPM	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	0
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	0
	TOTAL							0

Tabel 5 Rekapitulasi fire modelling *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *Medium bore* (50-150 mm)

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				PPM	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				PPM	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<5500	-
	Crew Ship	3	-	-	-	3 /~ /~	<5500	-
	TOTAL							0

Tabel 7 Rekapitulasi fire modelling *flash fire* dengan skenario kebocoran *full bore* (>150 mm)

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	-
	Crew Ship	3		-		3 /~ /~	<1.0	-
	TOTAL							0
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~		-
	Crew Ship	3	-	3 / 99 m / 60 s	-	-		3
	TOTAL							3

Node /			Burn Degree (Jumlah orang	Pressure	Fatality
--------	--	--	---------------------------	----------	----------

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	terdampak/Radius/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	-
	Crew Ship	3	3 / 89m /60 s	-	-	-	1.0-3.5	3
	TOTAL							3
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	0
	Crew Ship	3	-	3 / 60 m / 60 s	-	-	>3.5	3
	TOTAL							3

Tabel 9 Rekapitulasi fire modelling *flash fire* dengan skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

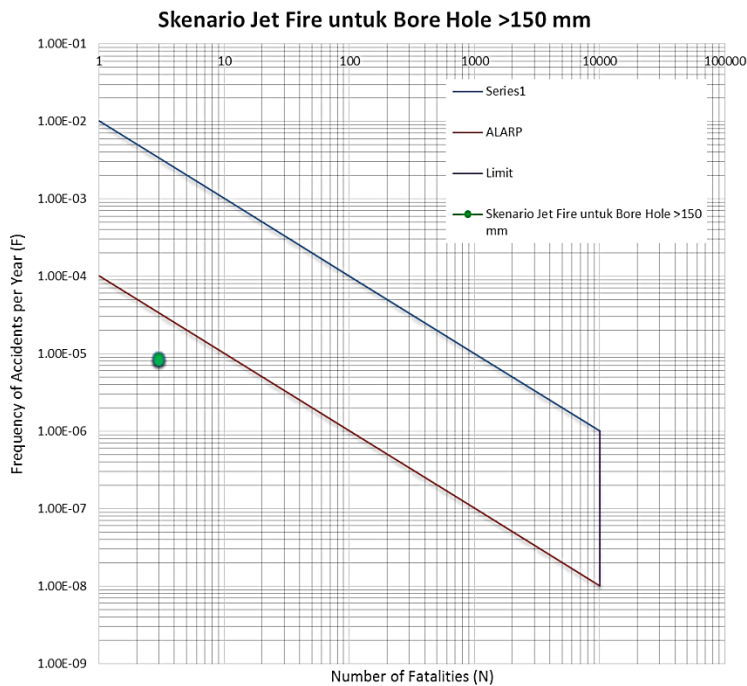
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
			First	Second	Third	Tolerable		
Node 1&2	Kapal Pertamina Gas 1 & Flexible Hose							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	-
	Crew Ship	3		-		3 /~ /~	<1.0	3
	TOTAL							3
Node 3	Kapal Gas Arar							
	Ship Operator	7	-	-	-	7 /~ /~	<1.0	0
	Crew Ship	3	-	3 / 20 m / 60 s	-	-	>3.5	3
	TOTAL							3

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D
(Representasi Risiko)

Tabel 4 Rekapitulasi *jet fire* untuk skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

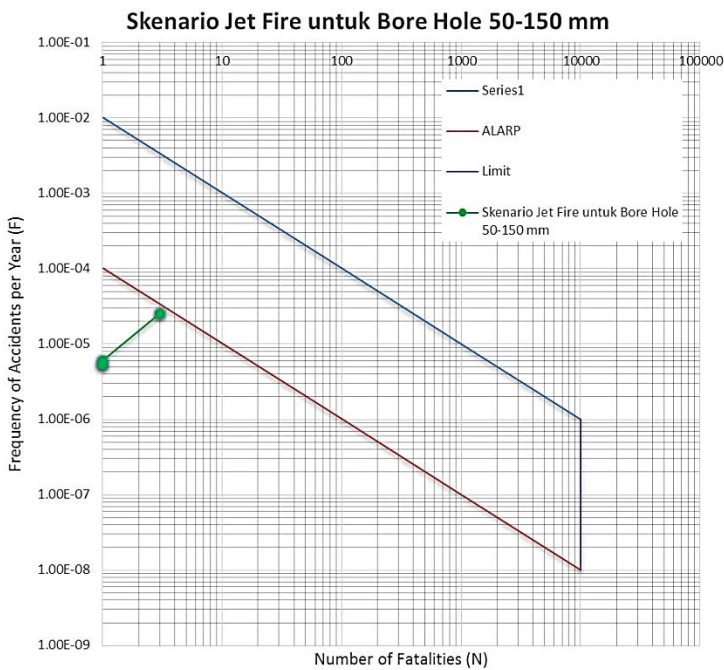
Skenario Jet Fire untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	3	7.96E-06	7.96E-06
2	Fleksible Hose	3	8.63E-07	8.82E-06
3	Gas Arar	3	1.00E-06	9.83E-06



Gambar 42 F-N curve untuk *jet fire* dengan skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

Tabel 5 Rekapitulasi *jet fire* untuk skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

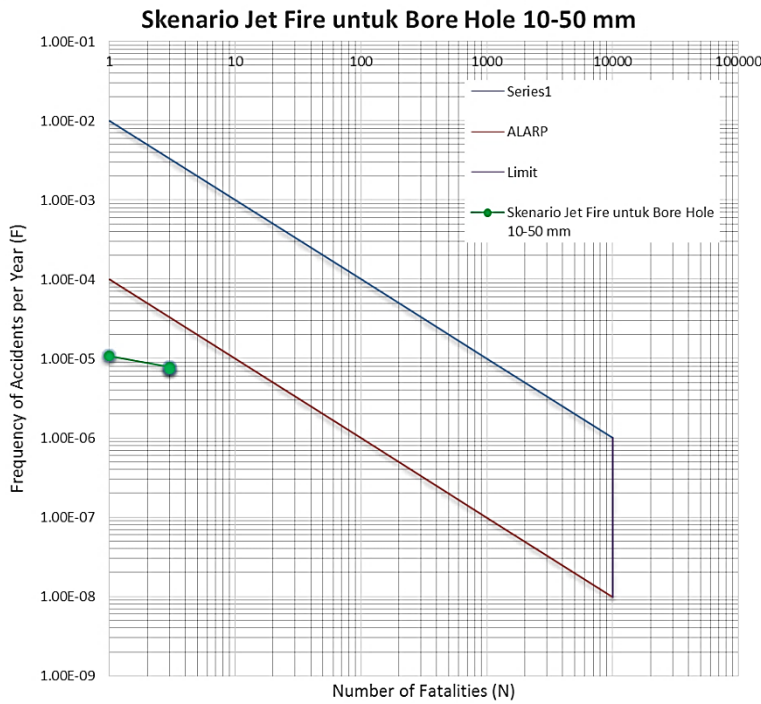
Skenario Jet Fire untuk Bore Hole 50-150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	5.29E-06	5.29E-06
2	Fleksible Hose	1	7.19E-07	6.01E-06
3	Gas Arar	3	1.94E-05	2.54E-05



Gambar 43 F-N curve untuk *jet fire* dengan skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

Tabel 6 Rekapitulasi *jet fire* untuk skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

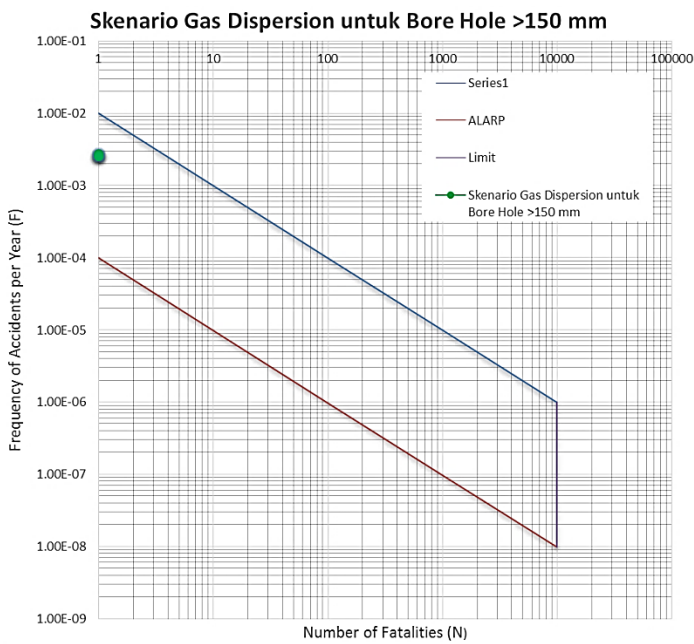
Skenario Jet Fire untuk Bore Hole 10-50 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	3	7.35E-06	7.35E-06
2	Fleksible Hose	3	5.09E-07	7.86E-06
3	Gas Arar	1	2.89E-06	1.07E-05



Gambar 44 F-N curve untuk *jet fire* dengan skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

Tabel 16 Rekapitulasi *gas dispersion* untuk skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

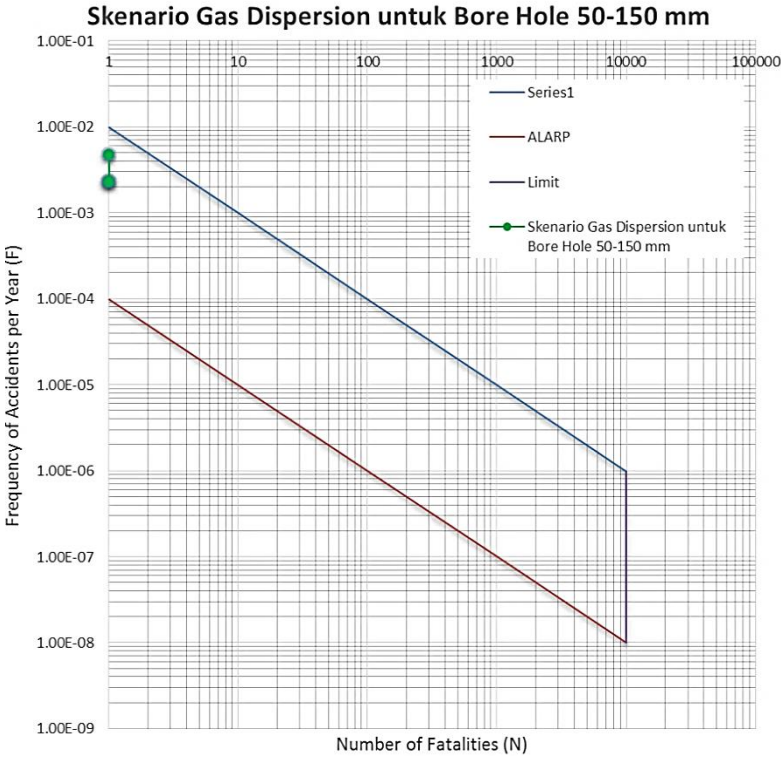
Skenario Gas Dispersion untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	2.55E-03	2.55E-03
2	Fleksible Hose	1	7.30E-05	2.62E-03
3	Gas Arar	1	8.49E-05	2.70E-03



Gambar 45 F-N curve untuk *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

Tabel 17 Rekapitulasi *gas dispersion* untuk skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

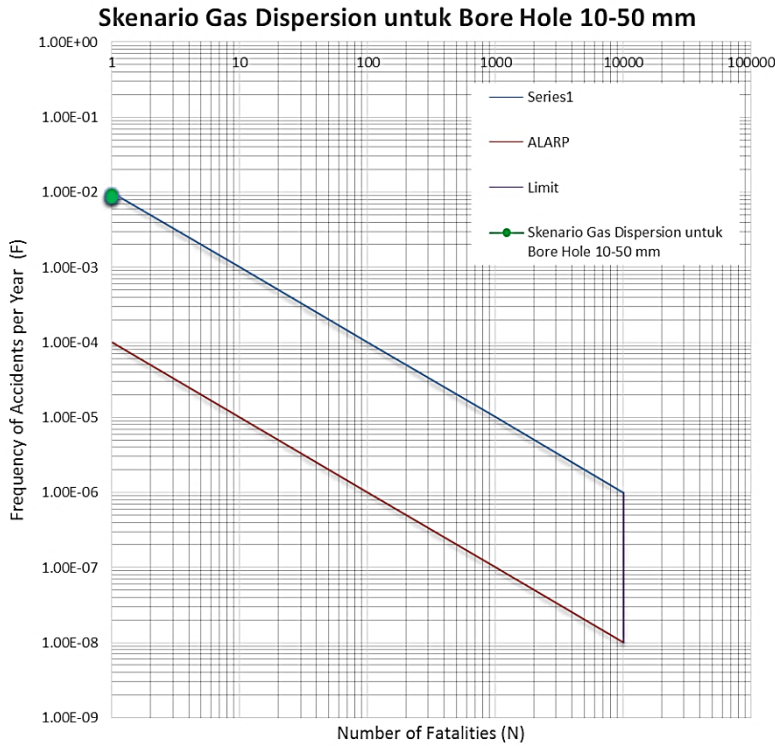
Skenario Gas Dispersion untuk Bore Hole 50-150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	2.28E-03	2.28E-03
2	Fleksible Hose	1	8.89E-05	2.37E-03
3	Gas Arar	1	2.40E-03	4.77E-03



Gambar 46 F-N curve untuk *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

Tabel 18 Rekapitulasi *gas dispersion* untuk skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

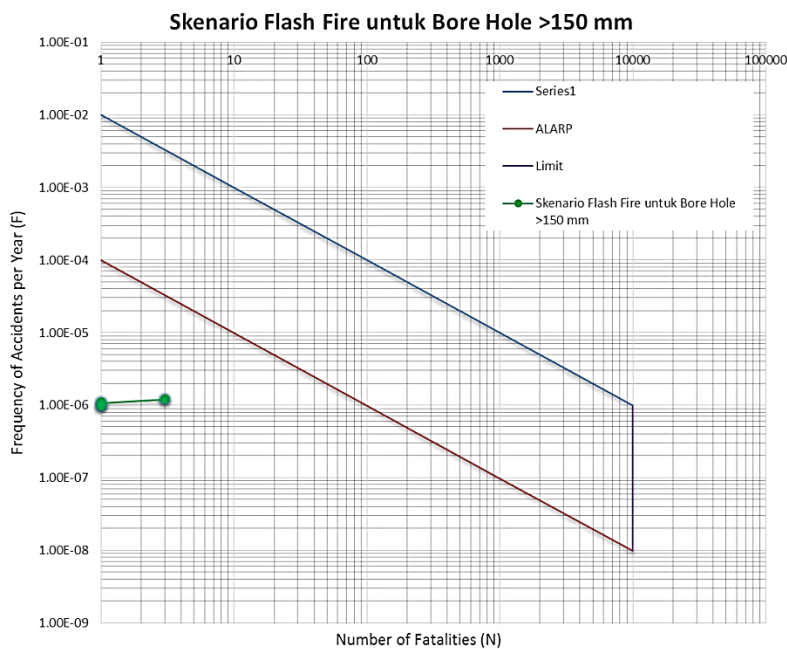
Skenario Gas Dispersion untuk Bore Hole 10-50 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	8.25E-03	8.25E-03
2	Fleksible Hose	1	4.39E-04	8.69E-03
3	Gas Arar	1	9.24E-04	9.61E-03



Gambar 47 F-N curve untuk *gas dispersion* dengan skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

Tabel 19 Rekapitulasi *flash fire* untuk skenario kebocoran *Full bore* (>150 mm)

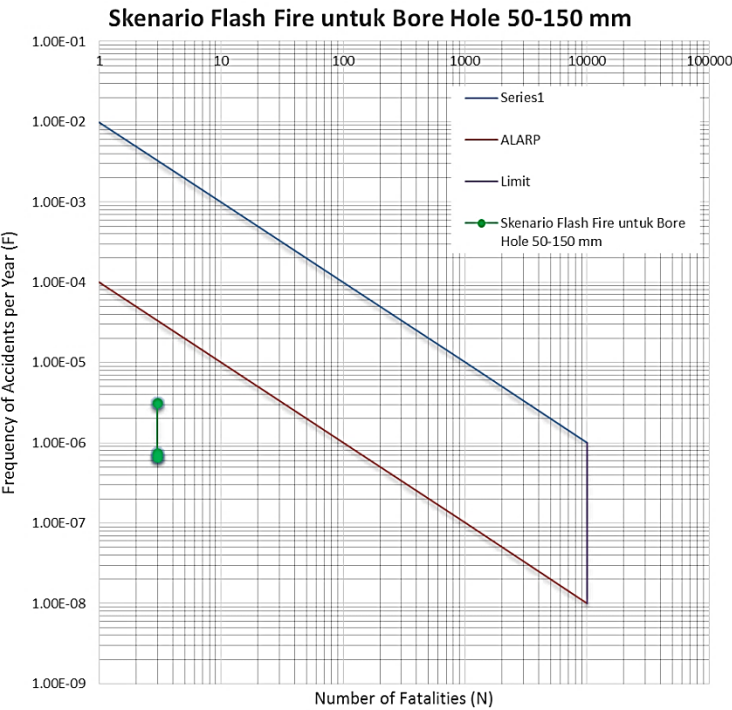
Skenario Flash Fire untuk Bore Hole >150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	9.84E-07	9.84E-07
2	Fleksible Hose	1	1.07E-07	1.09E-06
3	Gas Arar	3	1.24E-07	1.21E-06



Gambar 48 F-N curve untuk *flash fire* dengan skenario kebocoran *large bore* (>150 mm)

Tabel 20 Rekapitulasi *flash fire* untuk skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

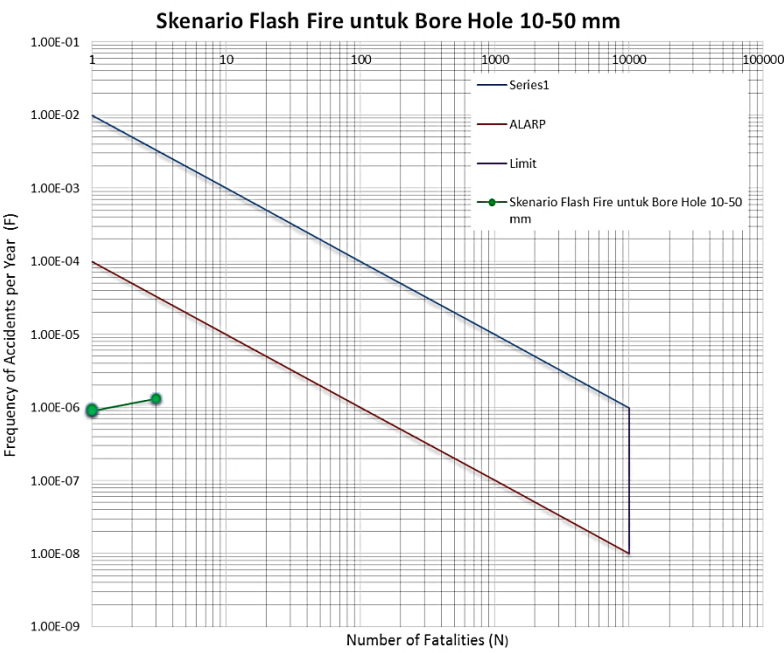
Skenario Flash Fire untuk Bore Hole 50-150 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	3	6.54E-07	6.54E-07
2	Fleksible Hose	3	8.88E-08	7.42E-07
3	Gas Arar	3	2.40E-06	3.14E-06



Gambar 49 F-N *curve* untuk *flash fire* dengan skenario kebocoran *medium bore* (50-150 mm)

Tabel 21 Rekapitulasi *flash fire* untuk skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)

Skenario Flash Fire untuk Bore Hole 10-50 mm				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Pertamina Gas 1	1	9.08E-07	9.08E-07
2	Fleksible Hose	1	6.29E-08	9.71E-07
3	Gas Arar	3	3.57E-07	1.33E-06



Gambar 50 F-N curve untuk *flash fire* dengan skenario kebocoran *small bore* (10-50 mm)



Penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 22 Juli 1995, dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara, penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Kartika Jaya, SDN Pogar 1 Bangil, SMPN 1 Pandaan, dan SMAN 1 Bangil. Pada tahun 2013 penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dengan NRP 4213100108 melalui jalur Mandiri. Selama berkuliah, penulis sangat aktif dalam beberapa kegiatan di dalam kampus. Dalam bidang organisasi, penulis berkesempatan menjadi Bendahara Umum II pada tahun kedua, dan di amanahi sebagai Bendahara Umum I HIMASISKAL pada tahun ketiga. Dalam bidang kepelatihan dan kepeemanduan, penulis sangat aktif sebagai peserta dalam Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM). LKMM yang diikuti antara lain, LKMM Pra Tingkat Dasar, LKMM Tingkat Dasar. Selain itu penulis juga aktif sebagai anggota Laboratorium *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (RAMS) pada tahun keempat. Pengalaman Kerja Praktek yang pernah ditempuh penulis antara lain di PT DUMAS Tanjung Perak Shipyard, Surabaya dan PT. Pertamina Perkapalan (Persero), Jakarta. Pada tahun terakhir penulis berkesempatan mendapatkan award dari ABS dan RINA-BKI.